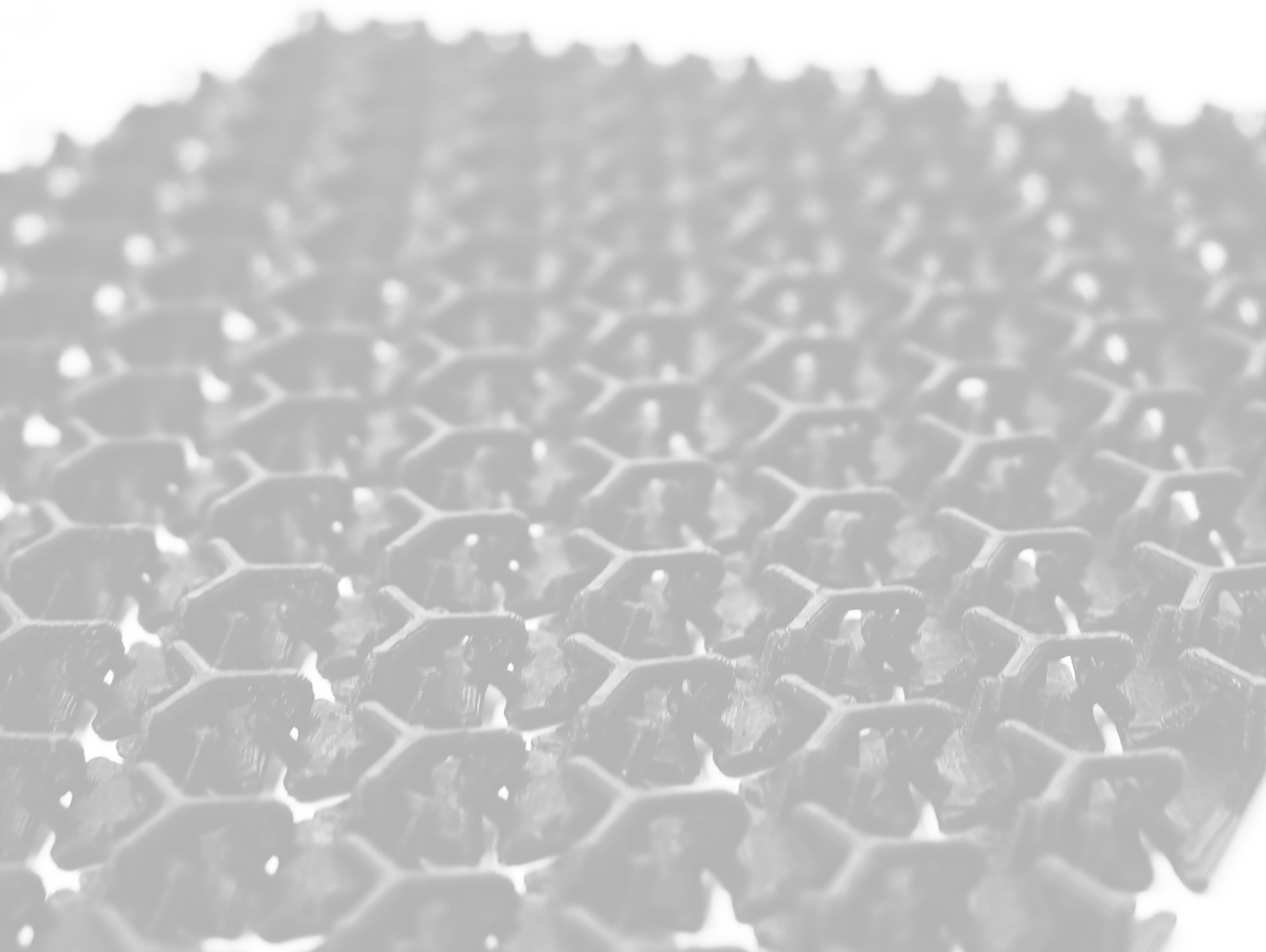


A TRIDIMENSIONALIDADE DA SUPERFÍCIE VESTÍVEL E A IMPRESSÃO 3D:

PROCESSOS, ESTRATÉGIAS E EXPERIMENTAÇÕES

Dailene Nogueira da Silva





UNIVERSIDADE
DE LISBOA



FACULDADE DE ARQUITETURA
UNIVERSIDADE DE LISBOA

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO
E
UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE ARQUITETURA

A TRIDIMENSIONALIDADE DA SUPERFÍCIE VESTÍVEL E A IMPRESSÃO 3D: PROCESSOS, ESTRATÉGIAS E EXPERIMENTAÇÕES

Dailene Nogueira da Silva

Orientadora UNESP:

**Profa. Doutora Marizilda dos Santos
Menezes**

Orientador ULisboa:

Prof. Doutor Pedro Miguel Gomes Januário

Bauru, 2020

Dailene Nogueira da Silva

A TRIDIMENSIONALIDADE DA SUPERFÍCIE VESTÍVEL E A IMPRESSÃO 3D: PROCESSOS, ESTRATÉGIAS E EXPERIMENTAÇÕES

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design, da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP em cotutela com o Curso de Doutorado em Design da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, sob orientação respectivamente da Professora Doutora Marizilda dos Santos Menezes e do Professor Doutor Pedro Miguel Gomes Januário, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Design.

Bauru, 2020

Silva, Dailene Nogueira da

A Tridimensionalidade da Superfície Vestível e a Impressão 3D:
Processos, Estratégias e Experimentações/ Dailene Nogueira da
Silva. - Bauru, 2020

173 p. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, em cotutela
com Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa (FA.ULisboa).

Orientadora: Marizilda dos Santos Menezes

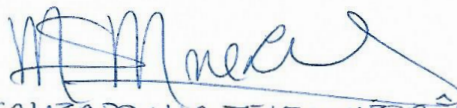
Orientador no exterior: Pedro Miguel Gomes Januário

1. Design de Superfícies. 2. Superfícies Vestíveis.
3. Impressão 3D. 4. Manufatura Aditiva. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE DAILENE NOGUEIRA DA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 27 dias do mês de abril do ano de 2020, às 11:00 horas, no(a) "via sistemas de videoconferência e outras ferramentas para comunicação a distância", reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof^a. Dr^a. MARIZILDA DOS SANTOS MENEZES - Orientador(a) do(a) Programa de Pós-graduação em Design / FAAC/UNESP/Bauru, Prof. Titular LUIS CARLOS PASCHOARELLI do(a) Programa de Pós-Graduação em Design / FAAC/UNESP/Bauru, Prof^a. Dr^a MÁRCIA LUIZA FRANÇA DA SILVA do(a) Escola de Arquitetura / UFMG, Prof. Dr. PEDRO MIGUEL GOMES JANUÁRIO do(a) Faculdade de Arquitetura / Universidade de Lisboa, Prof. Dr. GIANNI MONTAGNA do(a) Faculdade de Arquitetura / Universidade de Lisboa, Prof.^a Dr.^a ALEXANDRA CLÁUDIA REBELO PAIO do(a) Iscte / Instituto Universitário de Lisboa, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da TESE DE DOUTORADO de DAILENE NOGUEIRA DA SILVA, intitulada **A TRIDIMENSIONALIDADE DA SUPERFÍCIE VESTÍVEL E A IMPRESSÃO 3D: PROCESSOS, ESTRATÉGIAS E EXPERIMENTAÇÕES**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO _____. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof^a. Dr^a. MARIZILDA DOS SANTOS MENEZES



Prof. Titular LUIS CARLOS PASCHOARELLI REALIZADO VIA TELECONFERÊNCIA

Prof^a. Dr^a MÁRCIA LUIZA FRANÇA DA SILVA REALIZADO VIA TELECONFERÊNCIA

Prof. Dr. PEDRO MIGUEL GOMES JANUÁRIO REALIZADO VIA TELECONFERÊNCIA

Prof. Dr. GIANNI MONTAGNA REALIZADO VIA TELECONFERÊNCIA

Prof.^a Dr.^a ALEXANDRA CLÁUDIA REBELO PAIO REALIZADO VIA TELECONFERÊNCIA

“Só não existe o que não pode ser imaginado.”

Murilo Mendes, 1945

À todos os meus professores.
E aos meus pais, meus maiores professores.

AGRADECIMENTOS

À professora Marizilda que esteve ao meu lado durante toda minha trajetória acadêmica, pela confiança, incentivo e amizade.

À coordenação e a todos os funcionários do programa de pós-graduação. Em especial ao Helder Gelonezi, ao Luiz Augusto Campagnani Ferreira e ao Silvio Carlos Decimone que me auxiliaram sempre que preciso e atenderam prontamente minhas solicitações.

Ao professor Pedro Miguel Gomes Januário, que atendendo ao meu pedido de orientação no exterior, concedeu-me a oportunidade do intercâmbio.

Ao professor Fernando Moreira e a todos os funcionários do CIAUD que me acolherem e apoiaram minha pesquisa na U-Lisboa.

Ao professor Flávio que prontamente atendeu minha solicitação de ajuda com a impressão 3D, junto a Fatec-Jahu.

Aos amigos da pós, principalmente ao LeMode, por todo incentivo. Sou grata pelas conversas, pelas trocas e pelas ideias que ajudaram a construir esta tese.

À minha família, pelo suporte e apoio incondicional que me permitiram chegar até aqui.

À Capes, pelo apoio financeiro que viabilizou o desenvolvimento desta pesquisa, a divulgação da mesma em eventos científicos e, principalmente, o intercâmbio realizado.

Por fim, agradeço à Unesp e a todos que apoiam o ensino público, gratuito e de qualidade, que permitiu minha formação pessoal e profissional.

RESUMO

A fabricação digital se tornou uma realidade para a produção em diversos setores da indústria nos últimos anos. Com seu uso desenvolvido e consolidado em alguns setores como a medicina, a arquitetura e a robótica, ela ainda é pouco explorada na moda apresentando um grande potencial para construção de superfícies que possam ser vestidas. O uso da fabricação digital implica na concepção tridimensional da superfície vestível o que traz ao Design de Moda desafios a serem superados no que diz respeito ao custo, ao uso dos materiais, à distribuição de produtos e, principalmente, às formas de criação e construção. Sendo assim, esta pesquisa se propõe a investigar o desenvolvimento de superfícies tridimensionais mediante os processos de manufatura aditiva sob a ótica do Design de Superfícies. Analisa-se a viabilidade do uso destes métodos para a construção de superfícies vestíveis e são propostas estratégias para a utilização, de maneira a contribuir com o conhecimento teórico acerca do Design de Superfícies no que tange a tridimensionalidade e ao uso das tecnologias de fabricação digital. Para tal, inicia-se o trabalho com uma revisão bibliográfica sobre o Design de Superfícies, a fabricação de superfícies vestíveis ao longo da história e sobre a manufatura aditiva, em seguida, parte-se para a análise dos projetos realizados por designers envolvendo as superfícies tridimensionais e a fabricação digital, para então proceder com experimentações. Propõe-se a construção por meio de módulos como principal estratégia para criação de superfícies vestíveis por meio da manufatura aditiva.

Palavras-chave: Design de Superfícies, superfícies vestíveis, impressão 3D, manufatura aditiva.

ABSTRACT

Digital manufacturing has become a reality for production in various industry sectors in recent years. With its use developed and consolidated in some sectors such as medicine, architecture and robotics, it is still poorly explored in fashion presenting a great potential for construction of wearable surfaces. The use of digital fabrication implies the three-dimensional design of the wearable surface which brings to Fashion Design challenges to be overcome with regard to cost, the use of materials, the distribution of products and especially the forms of creation and construction. Thus, this research aims to investigate the development of three-dimensional surfaces through additive manufacturing processes from the perspective of Surface Design. The feasibility of using these methods for the construction of wearable surfaces is analyzed and strategies for their use are proposed, in order to contribute to the theoretical knowledge about surface design in terms of three-dimensionality and the use of digital manufacturing technologies. To this end, the work begins with a literature review on Surface Design, the manufacture of wearable surfaces throughout history and on digital fabrication, then starts with the analysis of designs carried out by designers involving surfaces. dimensions and digital fabrication, and then proceed with experimentation. Modular construction is proposed as the main strategy for the construction of wearable surfaces through additive manufacturing.

Keywords: surface design, wearable surfaces, 3D print, additive manufacturing.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: procedimentos metodológicos	11
FIGURA 2: tri-eixo cartesiano.....	17
FIGURA 3: exemplo de módulo bidimensional	18
FIGURA 4: exemplo de módulo tridimensional.....	18
FIGURA 5: sistemas básicos para repetição de módulos.....	19
FIGURA 6: simetria rígidas.....	20
FIGURA 7: simetria de dilatação	20
FIGURA 8: multimódulos.....	21
FIGURA 9: transformação por equivalência de área.....	23
FIGURA 10: Malha de Escher	23
FIGURA 11: releitura da malha de Escher com módulos tridimensionais	24
FIGURA 12: malhas regulares	25
FIGURA 13: exemplos de malhas semirregulares.....	26
FIGURA 14: exemplos de malhas duais.....	26
FIGURA 15: malha triangular descrevendo uma superfície	27
FIGURA 16: esquema com as principais fibras têxteis	32
FIGURA 17: desenho dos elementos básico do tear.....	34
FIGURA 18: esquemas básicos da tecelagem de tecidos planos.....	38
FIGURA 19: sistemas básicos dos tecidos triaxiais.....	39
FIGURA 20: esquema malharia por trama e por urdume	39
FIGURA 21: estruturas 3D típicas	41
FIGURA 22: estrutura do tecido do tipo malha multiaxial.....	41
FIGURA 23: esquema do tecido malha sanduíche	42
FIGURA 24: tecido malha com geometria espacial	43
FIGURA 25: Black Drape Dress	55
FIGURA 26: FOC Textiles	56
FIGURA 27: top impresso em 3D de Iris van Herpen.....	56
FIGURA 28: vestido Skeleton	57
FIGURA 29: vestido Cathedral	57
FIGURA 30: vestido Symbiosis	58
FIGURA 31: Voltage Dress.....	58
FIGURA 32: Spider Dress 2.0	59
FIGURA 33: linha do tempo de superfícies para moda impressas em 3D..	65
FIGURA 34: Tecido Spray Fabrican	69

FIGURA 35: Mushtari, dispositivo vestível impresso em 3D	70
FIGURA 36: esquema do processo de Estereolitografia.....	75
FIGURA 37: principais componentes de uma impressora FDM.....	78
FIGURA 38: componentes da impressão 3D Jato de Tinta	81
FIGURA 39: princípio de funcionamento da tecnologia CJP	82
FIGURA 40: principais componentes na impressão SLS.....	84
FIGURA 41: princípio do processo LOM	86
FIGURA 42: esquema do processo de DED.....	88
FIGURA 43: Kinematics Dress	96
FIGURA 44: dobragem para impressão	97
FIGURA 45: estrutura Kinematics com detalhes das dobradiças.....	98
FIGURA 46: visão de raio X mostrando a estrutura da dobradiça.....	98
FIGURA 47: personalizações no aplicativo Kinematics Cloth	99
FIGURA 48: módulos disponíveis para escolha simplificados.....	99
FIGURA 49: print do aplicativo Kinematics Cloth.....	100
FIGURA 50: simplificação da malha formada pelos módulos.....	101
FIGURA 51: coleção Liberty Leading the People	102
FIGURA 52: vestido usado na abertura das paraolimpíadas, 2016.....	102
FIGURA 53: site de compra da Jaqueta impressa em 3D	103
FIGURA 54: detalhes da Jaqueta Bomber.....	104
FIGURA 55: esquema de repetição do módulo da Jaqueta Bomber.....	105
FIGURA 56: Foliage Dress por Iris Van Herpen	107
FIGURA 57: detalhes dos módulos impressos sobre tule	108
FIGURA 58: detalhes da montagem do vestido Foliage Dress.....	109
FIGURA 59: desenho do módulo da superfície Modeclix	110
FIGURA 60: módulos impressos por SLS	111
FIGURA 61: detalhe dos módulos Modeclix impressos.....	111
FIGURA 62: exemplos de ligações do módulo no vestuário	112
FIGURA 63: diferentes modelos de vestidos a partir do Modeclix	113
FIGURA 64: módulos quadrados em ambiente virtual	119
FIGURA 65: medidas do módulo quadrado	120
FIGURA 66: malha com módulos quadrados impressa.....	120
FIGURA 67: vista superior dos dois tipos de módulos	121
FIGURA 68: malha triangular criada por Devin Montes	121
FIGURA 69: detalhe da união dos módulos	121
FIGURA 70: medidas do módulo triangular	122

FIGURA 71: observação do caimento da estrutura.....	122
FIGURA 72: módulo inspirado nas laçadas da malha	123
FIGURA 73: vistas do modelo.	123
FIGURA 74: módulos impressos	124
FIGURA 75: medidas do módulo com 4 alças.....	124
FIGURA 76: módulo impresso com tamanho ajustado	125
FIGURA 77: módulo com 3 alças	126
FIGURA 78: impressão teste módulo 3 alças.....	126
FIGURA 79: print da modelação do módulo com 3 alças	127
FIGURA 80: medidas do módulo 3 alças.....	127
FIGURA 81: impressão do módulo de 3 alças.....	128
FIGURA 82: vistas da geometria impressa	129
FIGURA 83: geometria impressa em TPU	130
FIGURA 84: nova modelação realizada	131
FIGURA 85: geometria impressa em PLA	131
FIGURA 86: módulo e repetição de padrão triangular.....	132
FIGURA 87: modelação de padrão triangular no Rhinoceros.....	132
FIGURA 88: padrão triangular impresso.....	133
FIGURA 89: modelação do módulo triangular no formato saia.....	134
FIGURA 90: impressões da amostra com diferentes espessuras.	134
FIGURA 91: variáveis da superfície tridimensional impressa.....	137

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: classificação das superfícies quanto ao tipo de geratriz.....	19
QUADRO 2: simetrias aplicadas ao design têxtil.....	25
QUADRO 3: resumo das superfícies estudadas	117
QUADRO 4: tipos de licença Crative Commons.....	122
QUADRO 5: resumo das experimentações	139

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno (do inglês <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>)
CAD	Desenho Assistido por Computador (do inglês <i>Computer-Aided Design</i>)
CADEP	Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos
CJP	Impressão ColorJet (do inglês <i>ColorJet Print</i>)
DED	Deposição com Energia Direcionada (do inglês <i>Direct Energy Deposition</i>)
DLF	Fabricação Direta com Luz (do inglês <i>Direct Light Fabrication</i>)
DM	Design de Moda
DMD	Deposição Direta de Metal (do inglês <i>Direct Metal Deposition</i>)
DS	Design de Superfícies
FATEC	Faculdade de Tecnologia
FDM	Deposição de Material Fundido (do inglês <i>Fused Deposition Modeling</i>)
IJP	Impressão Jato de Tinta (do inglês <i>InkJet Print</i>)
LENS	<i>Laser Engineered Net Shaping</i>
LOM	Manufatura Laminar de Objetos (do inglês <i>Laminated Object Manufacturing</i>)
LPR	Laboratório de Prototipagem Rápida
MA	Manufatura Aditiva
PC	Polycarbonato
PE	Polietileno
PET	Polietileno Tereftalato (do inglês <i>Poly Ethylene Terephthalate</i>)
PETG	Polietileno Tereftalato modificado com Glycol
PLA	Ácido Polilático (do inglês <i>Poly lactic Acid</i>)
PP	Polipropileno
SE	Superfície-envoltório
SO	Superfície-objeto
SLA	Estereolitografia (do inglês <i>Stereolithography</i>)
SLM	Fusão Seletiva a Laser (do inglês <i>Selective Laser Melting</i>)
SLS	Sinterização Seletiva a Laser (do inglês <i>Selective Laser Sintering</i>)
TPU	Poliuretano Termoplástico (do inglês <i>Thermoplastic Polyurethane</i>)
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
Ulisboa	Universidade de Lisboa
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”
UV	Ultravioleta

GLOSSÁRIO

Malha geométrica: surge do agrupamento das formas geométricas básicas, sendo formada pelos segmentos de reta, ou seja, pelos lados dos polígonos e pelo seu interior. A união dos segmentos determina os próprios vértices dos polígonos, também identificados como nós das malhas (NEVES, 1998). Serve para organizar a repetição modular por meio de uma ordem estabelecida, impondo o lugar e a maneira, onde e como, a forma vai ser repetida (GOMES; MACHADO, 2006).

Manufatura Aditiva: também chamada de fabricação aditiva e popularmente conhecida como impressão 3D, consiste no processo de fabricação de objetos, a partir da adição de camadas consecutivas, de acordo com um modelo digital (definições mais detalhadas são abordadas no item 4.2. desta tese).

Modelação tridimensional (português europeu) ou modelagem tridimensional (português brasileiro): consiste no processo de desenvolvimento de uma representação matemática de qualquer superfície tridimensional de um objeto, por meio de software especializado, a fim de que se obtenha um modelo tridimensional. Neste trabalho optou-se por cha-

má-la de modelação tridimensional, conforme o português europeu, para diferenciá-la da modelagem utilizada no processo de fabricação de roupas.

Modelagem de roupas: consiste na construção do conjunto de moldes gabaritos, que reproduzem as formas e medidas do corpo humano adaptadas ao estilo proposto pelo designer, que são executados a partir da análise do desenho técnico e das demais especificações do projeto (JONES, 2005).

Superfície vestível: aquela que se relaciona diretamente com o corpo, e com uma área significativa dele, de forma que significativas ligações são estabelecidas entre ambos. Atualmente as superfícies vestíveis são todas materializadas no tecido que posteriormente se transforma em roupa, porém este trabalho trata de uma nova forma de construção por isso optou-se por chamá-las superfícies vestíveis.

Tecidos malha: tecidos resultantes do entrelaçamento de laçadas de um ou mais fios (PEZZOLO, 2012).

Tecidos planos: tecidos obtidos a partir do entrelaçamento de dois conjuntos de fios em um ângulo de 90° (PEZZOLO, 2012).

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
1. INVESTIGAÇÃO	4
1.1. QUESTÃO FUNDAMENTAL	6
1.2. HIPÓTESE	6
1.3. OBJETIVOS	7
1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	7
1.5. MATERIAIS	10
2. DESIGN DE SUPERFÍCIES	12
2.1. O DESIGN DE SUPERFÍCIES APLICADO AO VESTUÁRIO	13
2.2. O DESIGN DE SUPERFÍCIES NO ESPAÇO TRIDIMENSIONAL ...	17
3. SUPERFÍCIES VESTÍVEIS	28
3.1. DO TEAR À IMPRESSÃO 3D.....	29
3.1.1. Materiais utilizados ao longo da história.....	29
3.1.2. A industrialização e uso das novas tecnologias.....	34
3.2. ESTRUTURAS TÊXTEIS	37
3.2.1. Estruturas têxteis tridimensionais	40
3.3. AS PROPRIEDADES DOS TECIDOS.....	43
3.3.1. Conforto	44
3.3.2. Considerações sobre o conforto nos produtos impressos ..	47
3.4. OS DESAFIOS DA MODA FRENTE ÀS NOVAS TECNOLOGIAS ..	48
4. IMPRESSÃO 3D	54
4.1. A APLICAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NO VESTUÁRIO	55
4.2. PROCESSOS DE MANUFATURA ADITIVA.....	72
4.2.1.FOTOPOLIMERIZAÇÃO EM CUBA	74
4.2.2. EXTRUSÃO DE MATERIAL	77
4.2.3. JATEAMENTO DE MATERIAL.....	79
4.2.4. JATEAMENTO AGLUTINANTE.....	82
4.2.5. FUSÃO DE LEITO EM PÓ.....	83
4.2.6. ADIÇÃO DE LÂMINAS	86
4.2.7. DEPOSIÇÃO DE ENERGIA DIRECIONADA	87

4.3. MATERIAIS	88
4.2.1. ÁCIDO POLILÁTICO (PLA)	90
4.2.2. ACRILONITRILA BUTADIENO ESTIRENO (ABS)	91
4.2.3. POLITEREFTALATO DE ETILENO GLICOL (PETG)	92
4.2.4. POLIURETANO TERMOPLÁSTICO (TPU)	93
4.2.5. POLIAMIDA (NÁILON)	93
4.2.6. CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS MATERIAIS	94
 5. ESTUDO DE CASO	 95
5.1. KINEMATICS DRESS.....	95
5.2. JAQUETA BOMBER POR DANIT PELEG	101
5.3. FOLIAGE DRES POR IRIS VAN HERPEN	106
5.4. MODECLIX	110
5.4. ESTRUTURAS ESTUDADAS	114
 6. EXPERIMENTAÇÕES	 117
EXPERIMENTAÇÃO 1 – módulo quadrado	119
EXPERIMENTAÇÃO 2 – módulos triangulares.....	121
EXPERIMENTAÇÃO 3 – módulo laçadas 4 alças.....	123
EXPERIMENTAÇÃO 4 – laçadas 3 alças.....	126
EXPERIMENTAÇÃO 5 – módulo molas.....	129
EXPERIMENTAÇÃO 6 – módulo padrão triangular	132
ANÁLISE GERAL DAS EXPERIMENTAÇÕES.....	135
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 143

INTRODUÇÃO

No último século de história dos tecidos, as inovações presentes no campo do Design de Superfícies propiciaram novas perspectivas para a criação e produção. Estas inovações romperam limites estéticos apresentando diferentes materiais e processos, agregando diferenciais ao produto final e propiciando maior conforto e praticidade ao usuário; em outros casos, foram capazes de reduzir impactos ambientais, melhorar processos, e ainda tornar a produção mais rápida.

A prática do Design contemporâneo tem sido permeada por tecnologias e influenciada por descobertas científicas, de forma que é possível encontrar diversificados projetos que visam incorporar nanotecnologia, impressão tridimensional, robótica, materiais inteligentes, entre outras inovações. Tais avanços também podem integrar o projeto de superfícies vestíveis.

A indústria do vestuário representa mais de 5% do PIB da indústria de transformação, segundo dados da ABIT (Associação Brasileira da Indústria Têxtil), e confirma sua importância para a economia do Brasil com elevados números de faturamento e de geração de emprego (ABIT, 2015). Pesquisas voltadas para a cadeia produtiva da moda que tratem sobre inovação e aproximem estudos acadêmicos da prática profissional apresentam grande relevância para o quadro configurado no país, ajudando a fortalecer a importância do setor.

Analisando a história dos tecidos, observa-se que esta é perpassada pelo surgimento e popularização de inovações científicas e avanços tecnológicos e, embora tenha anos de desenvolvimento e aprimoramento apresentando evolução nos seus processos, a construção do tecido mantém os mesmos princípios desde a invenção da tecelagem.

O surgimento de novos processos de confecção de produtos, especialmente no que se refere a fabricação digital e a impressão tridimensional, trazem inovação concreta e novas possibilidades de construção a diversas áreas do conhecimento. As primeiras aplicações no campo da moda têm propiciado ao produto vestível grande inovação. No entanto, tais meios também trazem questionamentos e abrem espaço para investigação, que abrange desde a obtenção de matérias-primas, passando pelos processos de construção, até as formas de comercialização e descarte de tais produtos.

Ao tratar o Design de Superfícies vestíveis, geralmente nos referimos ao material têxtil, onde diversas abordagens são possíveis, a começar pela construção do tecido na tecelagem, passando pelos tratamentos que a superfície tecida pode receber e pela criação e aplicação de estampas, até a relação que o material estabelece com o corpo ao se transformar em vestuário.

Quando nos referimos às roupas, o estudo da superfície assume protagonismo uma vez que no vestuário a relação entre o produto e o usuário é de extrema relevância e ocorre de forma intensa. Como a fabricação digital envolve novas matérias-primas e formas de construção, admite-se que existe uma lacuna para o estudo da superfície vestível e sua configuração cabendo o questionamento de como este novo modo de produção deve ser inserido no estudo e na prática produtiva do Design de Superfícies e do Design de Moda.

Sendo assim, o presente trabalho se propõe a investigar as práticas e os processos de fabricação digital passíveis de serem aplicados ao Design de Superfícies no que tange às possibilidades de trabalhar a superfície tridimensionalmente. Diante das particularidades das superfícies vestíveis observa-se como estas inovações podem ser inseridas no ensino do Design de Superfícies, na indústria criativa e a relevância dos resultados para o produto de moda.

A presente tese divide-se em sete capítulos. O primeiro trata sobre a investigação, suas motivações e procedimentos. Os capítulos 2, 3 e 4 ocupam-se do referencial teórico que disserta sobre os assuntos pertinentes a questão de pesquisa proposta realizando uma investigação bibliográfica acerca dos temas. O capítulo 5 seleciona e analisa superfícies criadas por meio da fabricação digital apresentando um estudo de caso acerca de quatro superfícies. No capítulo 6, são relatadas as experimentações realizadas. Por fim, no capítulo 7, apresentam-se os resultados e a conclusão do trabalho.

1. A INVESTIGAÇÃO

A fabricação digital já é uma realidade para o mercado há algum tempo e nos últimos anos teve sua aplicação ampliada em diversos setores, no entanto o seu uso na indústria e no ensino da moda encontra-se ainda em estágio inicial (KWON; LEE; KIM, 2017).

No que diz respeito especificamente a manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D, a tecnologia surgiu nos anos 80 e desde então apresentou rápido progresso na ciência dos softwares e no aprimoramento das tecnologias permitindo que hoje seja empregada para produzir produtos acabados para indústria.

Apesar da empolgação inicial com as tecnologias, diversas questões são levantadas como, por exemplo, a aceitação por parte do usuário, o conforto de tais produtos, uma vez que estes precisam ser funcionais e possuem o contato direto com o corpo, a relação de distribuição, sendo que a propriedade intelectual e a autoria são discutidas a partir de uma mudança no modo de venda, até os impactos que tal modo de produção pode causar na sociedade e no meio ambiente.

Neste contexto, o presente projeto investiga a fabricação digital, por meio dos processos de manufatura aditiva, de superfícies vestíveis tridimensionais com o objetivo principal de entender como estas podem ser inseridas no cenário que se configura atualmente no que diz respeito à produção industrial e também ao ensino do Design de Superfícies nos ambientes dos laboratórios de prototipagem rápida, contribuindo para a formação dos futuros profissionais que lidarão com tais questões.

Deve-se ressaltar que mesmo diante do grande potencial de investigação da área, poucos estudos no âmbito científico e acadêmico foram desenvolvidos. Ainda é escassa a bibliografia nas áreas que o trabalho relaciona, o Design de Superfícies e a fabricação digital. Sendo assim, este trabalho visa contribuir para o campo deixando sua colaboração com o estudo de tais tecnologias a partir da visão acadêmica e metodológica de prática e ensino.

O presente trabalho se desenvolveu em duas universidades, a Unesp (Universidade Estadual Paulista) e a ULisboa (Universidade de Lisboa). Foi realizado um intercâmbio por meio do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior da CAPES e sob o regime de Cotutela estabelecido pela parceria entre ambas.

Na Unesp o trabalho com a fabricação digital se desenvolve no CADEP (Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos) que se configura como um laboratório multiusuários voltado, essencialmente, à pesquisa e à prestação de serviços à indústria e a comunidade, destacando-se pelo pioneirismo no uso combinado das tecnologias convencionais com as tecnologias mais recentes para construção de modelos e protótipos, com projetos relevantes em desenvolvimento (CADEP, 2019).

O intercâmbio entre Unesp e ULisboa visou a troca de informações e ideias entre a universidade no Brasil e a universidade em Portugal, que atualmente promove relevantes projetos na área, trabalhando superfícies em seu Laboratório de Prototipagem Rápida (LPR), de forma que a troca foi bastante significativa e essencial ao desenvolvimento do projeto, no que tange ao trabalho com as superfícies.

A interação entre as duas universidades amplia a rede de pesquisa e ensino que ambas têm estabelecido. A respeito da fabricação digital e da prototipagem rápida, pretendeu-se trazer ao Brasil a experiência de trabalho com a transformação de superfícies rígidas em superfícies maleáveis a partir de intervenções, atividade desenvolvida na Universidade de Lisboa, liderada

pelo professor Doutor Pedro Miguel Gomes Januário. O trabalho desenvolvido pelo professor foi ponto de partida para o pensamento em Design de Superfícies e para algumas das experimentações realizadas.

Desta forma, as contribuições deste trabalho, de acordo com seus objetivos, visam o aprimoramento do ensino relacionando a teoria acadêmica com a prática buscando formas de aproximação com a inovação tecnológica. Também pretende deixar sua contribuição para a metodologia do projeto de superfícies vestíveis tridimensionais, possibilitando a capacitação de futuros profissionais da área.

1.1. QUESTÃO FUNDAMENTAL

O Design de Superfícies pode ser agente de inovação tanto na criação como na fabricação de produtos gerando novas práticas. Sendo assim, a presente pesquisa parte de duas questões:

- a) Qual a viabilidade do uso da fabricação digital para a produção de superfícies vestíveis?
- b) Como os conceitos do Design de Superfícies podem auxiliar no ensino e criação de superfícies vestíveis, a partir da fabricação digital, dentro do contexto acadêmico?

1.2. HIPÓTESE

Partindo do pressuposto de que a tridimensionalidade pode ser inserida na fabricação digital de superfícies vestíveis de forma parcial ou mesmo total, e representar inovação concreta ao produto, duas hipóteses são elaboradas:

- Os princípios e conceitos do Design de Superfícies, como módulos, repetições, simetrias e encaixes, podem ser aplicados à fabricação digital de superfícies tridimensionais.
- A criação e a fabricação de superfícies modulares permitem que a construção digital de superfícies tridimensionais vestíveis seja trabalhada dentro do contexto acadêmico e educacional dos laboratórios das universidades e da rede de FabLabs.

1.3. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é investigar a viabilidade do uso da fabricação digital na criação de superfícies vestíveis tridimensionais sob a ótica do Design de Superfícies e refletir sobre os processos e estratégias que podem ser utilizados.

Objetivos específicos:

- Estudar o Design de Superfícies tridimensionais;
- Estudar as mudanças na produção obtidas pela inserção das tecnologias de fabricação digital especialmente no que tange às superfícies vestíveis e seu impacto no ensino e no mercado.
- Compreender as formas de produção de superfícies tridimensionais por meio de processos digitais de fabricação;
- Verificar as atuais práticas do Design de Superfícies discutindo a inserção de inovações, reunindo e ampliando conhecimentos sobre o assunto.
- Identificar características relevantes da manufatura aditiva nos produtos do vestuário, seus benefícios e limitações.
- Experimentar o uso da tecnologia e apontar caminhos e estratégias para utilização.

1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa teve ênfase nos métodos qualitativos e realizou-se de modo empírico e exploratório. Com base na fundamentação bibliográfica e no estudo de caso partiu-se para a experimentação a fim de proceder as conclusões de acordo com os objetivos propostos. Sendo assim, a pesquisa contou com três principais procedimentos metodológicos:

- a) Revisão bibliográfica;
- b) Estudo de Caso Descritivo;
- c) Experimentações.

a) Revisão Bibliográfica

A revisão caracterizou-se como uma pesquisa exploratória, uma vez que teve como objetivo proporcionar maior familiaridade com a questão de pesquisa, definindo-a e explicitando-a.

Os estudos científicos sobre o tema ainda se apresentam em número reduzido tanto no que diz respeito ao Design de Superfícies Tridimensionais quanto no que se refere a relacioná-lo com a fabricação digital, por esses motivos foram exploradas as áreas concernentes ao assunto. A busca ocorreu em acervos bibliográficos físicos e online, sobretudo procurando artigos recentes que tratam o tema, em virtude de este versar sobre inovação.

O objetivo desta etapa foi ampliar o conhecimento e a compreensão do assunto trabalhado. Os principais temas tratados foram: o Design de Superfícies, as superfícies vestíveis e a fabricação digital.

Ao estudar o Design de Superfícies buscou-se sua definição e a revisão de seus conceitos com foco na abordagem tridimensional, no sentido de delimitar o objeto da tese. A intenção ao realizar a revisão bibliográfica acerca do Design de Superfícies não foi tratar suas definições e questões epistemológicas uma vez que trabalhos anteriores já lidaram com estes temas, buscou-se inserir e contextualizar este trabalho dentro da teoria já estabelecida para tornar possível a aplicação direta destes conceitos.

No estudo da superfície vestível foram investigadas as características que a configuram como tal, passando pelos materiais, processos de fabricação e a percepção por parte do usuário. Fez-se necessária uma revisão histórica, com o objetivo de entender como as superfícies vestíveis se transformaram ao longo do tempo chegando a configuração atual, quase em sua totalidade materializadas nos tecidos. Sendo assim, estes foram abordados desde seu surgimento, passando pela invenção do tear e chegando até a contemporaneidade, com o intuito de analisar como se deram as transições nos processos de fabricação.

Como último tópico da revisão bibliográfica foram estudadas as formas de obtenção de superfícies tridimensionais por meio da fabricação digital, abordando principalmente o uso dos processos de manufatura aditiva, conhecendo seus métodos e os possíveis materiais, analisando o cenário disposto atualmente.

b) Estudo de Caso

Realizou-se um estudo de caso descritivo que analisou produtos vestíveis onde a superfície tridimensional foi construída mediante a fabricação digital. Após a revisão bibliográfica optou-se por restringir os estudos às superfícies obtidas por meio dos processos de manufatura aditiva, no sentido de delimitar o campo de estudo da tese. Nesta etapa a pesquisa assumiu caráter qualitativo quanto a sua abordagem, buscando projetos significativos as questões obtidas, conhecendo-os e detalhando-os.

O estudo analisou as superfícies em dois pontos principais:

- A forma de criação, de acordo com os conceitos do Design de Superfícies, observando em quais parâmetros as superfícies selecionadas se encaixavam e os tipos de geometria, classificando-as de acordo com suas construções;
- A forma de fabricação, observando os processos de produção e o material utilizado;

O estudo de caso teve como objetivo definir o estado da arte em que a fabricação digital de vestíveis se encontra, além de verificar as hipóteses estabelecidas a partir da revisão de literatura.

c) Experimentações

Foram realizados testes de caráter experimental, de modo empírico e exploratório. Com base na revisão de literatura realizada e nos exemplos obtidos no estudo de caso partiu-se para a prática.

O objetivo inicial de tais experimentações foi buscar formas de aproximar a fabricação digital do ensino do Design de Superfícies, testando sua viabilidade, adaptando-a para a realidade de um laboratório dentro de uma universidade ou mesmo dentro da rede de FabLabs, ao mesmo tempo, estas experimentações possibilitaram avaliar as sensações táteis que as superfícies obtidas podem criar no usuário de acordo com os parâmetros revisados na bibliografia consultada.

Os testes realizados ocorreram no Laboratório de Prototipagem Rápida (LPR) da Faculdade de Arquitetura de Lisboa, no FabLab Lisboa e na FATEC-Jahu. Foram produzidas amostras de superfícies a partir dos principais materiais disponíveis nos laboratórios e os mais comuns para a manufatura aditiva, o PLA e o TPU. Os testes em PLA foram impressos no FabLab Lisboa, sendo este o material disponível à comunidade neste Laboratório. Os testes no LPR foram realizados com os polímeros TPU, com o objetivo de experimentar diferentes materiais.

No FabLab Lisboa a impressora utilizada foi Ultimaker 3 utilizando a técnica Fusion Deposit Modeling (FDM), no LPR a impressora utilizada foi a BCN Sigma e na Fatec Jahu a impressora Sethi 3D AiP, ambas também utilizam a técnica FDM, processo mais comum e acessível dentro dos laboratórios.

As experimentações focaram em reproduzir ao menos um exemplo de cada um dos tipos de superfícies observados no estudo de caso, avaliando os conceitos do Design de Superfícies tridimensionais presentes, bem como sua viabilidade como vestível, elas são detalhadas no capítulo 6.

1.5. MATERIAIS

Para esta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

- Acervos bibliográficos físicos e online para o referencial teórico;
- Termoplásticos para impressão;
 - Poliuretano Termoplástico (TPU)
 - Ácido Polilático (PLA)
- Softwares para construção das experimentações;
 - Adobe Illustrator
 - Rhinoceros
 - Cura
- Impressoras 3D;
 - Ultimaker 3
 - BCN Sigma
 - Sethi 3D AiP

A Figura 1, a seguir, apresenta um esquema geral da pesquisa bem como dos procedimentos metodológicos empregados e os principais temas abordados em cada um deles.

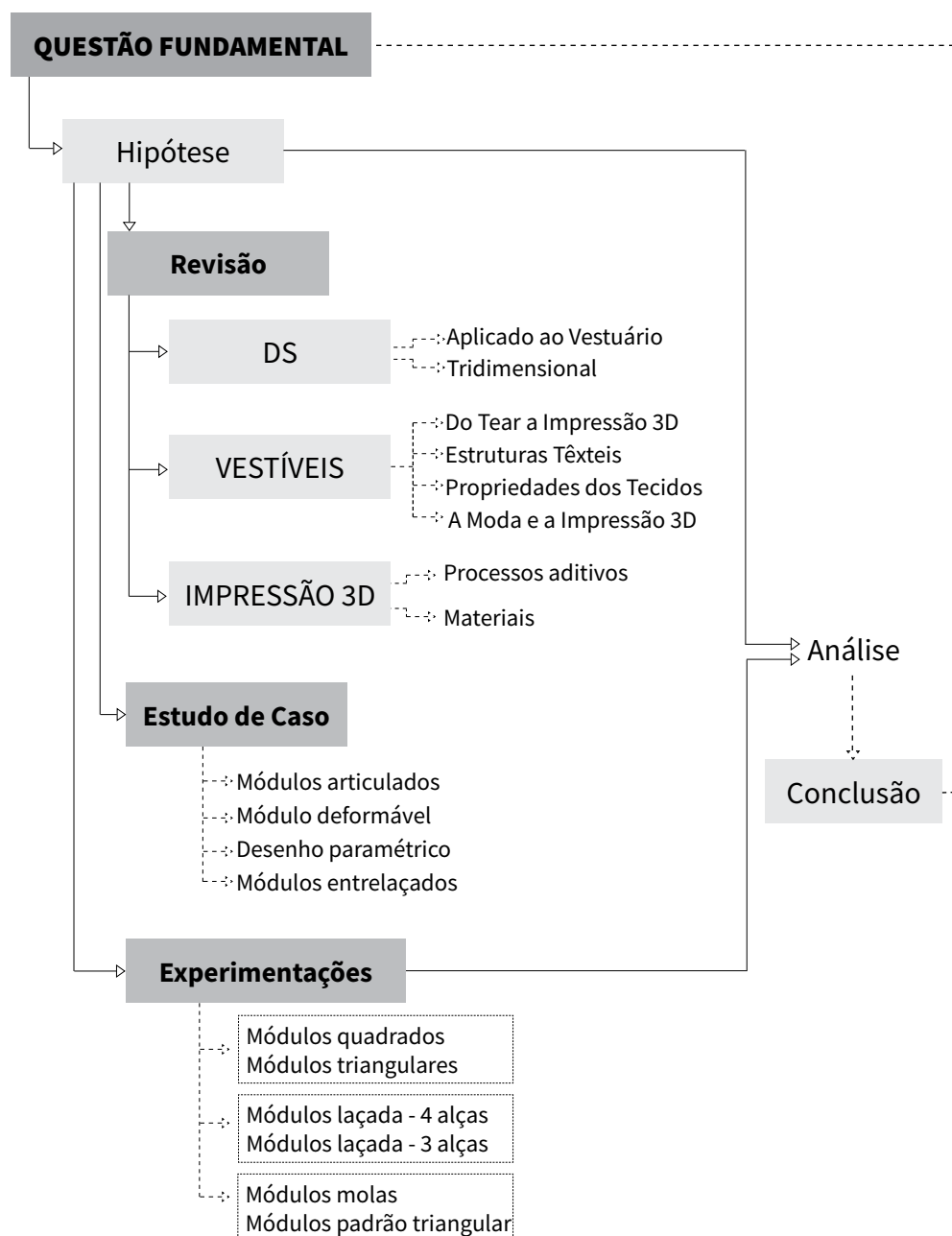


FIGURA 1: procedimentos metodológicos
Elaborada pela autora.

2. DESIGN DE SUPERFÍCIES

A preocupação humana com as superfícies e sua interferência sobre elas remonta dos primórdios da humanidade, sendo possível encontrar relatos destas intervenções datando da Antiguidade. Os grafismos nas cavernas, contando histórias cotidianas e retratando crenças, são considerados por muitos estudiosos como as primeiras tentativas de se imprimir caráter a uma superfície (SILVA, 2017).

Do ponto de vista do Design, se pode afirmar que a superfície começou a ser pensada a partir das manufaturas reais da Europa, no século XIV (SCHWARTZ; NEVES, 2009). Neste período, que antecedeu a Revolução Industrial, os objetos - louças, tapeçaria, móveis e tecidos - eram ricamente ornamentados. Foi nesta época que a produção, que até então ocorria em pequenas quantidades, precisou se estruturar para produzir mais, com o intuito de atender ao rei, sua corte e, posteriormente, a classe média em ascensão. Criou-se assim os primeiros esboços do pensamento em Design de Superfícies.

Com a Revolução Industrial a preocupação com o tratamento das superfícies ficou de lado em virtude da mecanização da produção, que no momento estava focada em prover os itens básicos para a população - roupas, comidas e móveis. Foi apenas no final século XX que a necessidade de respostas aos anseios do consumidor na sociedade pós-industrial trouxe de volta a reflexão sobre a superfície dos objetos. Uma vez que os produtos começaram a se equivaler tecnicamente, foi despertada a necessidade de diferenciação trazendo foco para as possibilidades da superfície (CARDOSO, 2013).

No Brasil, o termo Design de Superfícies (DS) começou a ser utilizado na década de 80, traduzido do inglês Surface Design pela Designer Renata Rubim após realizar estudos nos Estados Unidos. Lá, foi fundada em 1977 a Surface Design Association, com o objetivo de promover o pensamento acadêmico e propagar a prática do Design de Superfícies no setor têxtil, sendo esta bastante difundida na cultura norte-americana. Outro marco importante no Brasil foi a criação do primeiro curso em Design para Estamparia na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Na década de noventa o Núcleo de Design de Superfície (NDS) na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) deu início à pesquisas na área e por fim, em 2005, a especialidade “Design de Superfícies” foi adicionada à Tabela de Áreas do Conhecimento sob a Ótica do Design pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, o que significou uma conquista para o direcionamento de pesquisa e valorização do Design de Superfícies no país. Desde então o número de trabalhos neste campo, sob diferentes enfoques, tem crescido e apresenta-se com um grande potencial de investigação.

2.1. O DESIGN DE SUPERFÍCIES APLICADO AO VESTUÁRIO

A compreensão do Design de Superfícies tem início a partir da definição do que é a superfície. Encontrando a consonância entre as definições de pesquisadores da área pode-se delineá-la como o ponto de contato ou interação entre o objeto e o usuário, sendo passível de intervenção e projeto.

Ressalta-se, conforme afirma Schwartz (2008), que por vezes a superfície pode parecer encoberta pelos volumes que encerra e pelos objetos que define, dificultando sua percepção como elemento a ser pensado, planejado e definido.

Le Corbusier (1977), definiu a superfície como o envelope do volume dizendo que a mesma pode anular ou ampliar a sua sensação, de forma que as superfícies encerram volumes passando a limitar ou delimitar, em todo ou em parte algo. Ao projetar, duas faces devem ser consideradas: a anterior (ou frente, direto) e a posterior (ou verso, avesso).

Schwartz (2008) em sua dissertação de mestrado trata da tridimensionalização da superfície fazendo uma importante reflexão que vale para que se entenda o projeto de superfícies frente a fabricação digital de modo geral e, principalmente, no que diz respeito ao vestuário, discutindo o conceito de superfície-envoltório (SE) e superfície-objeto (SO).

Apesar da concepção de superfícies estar relacionada à aspectos bidimensionais de cálculo e representação, como comprimento e largura, ela na maioria das vezes funciona como elemento que envolve corpos que em sua essência são tridimensionais. Ou seja, a superfície é bidimensional, mas é percebida no espaço tridimensional. Posto isto, depara-se com outra questão importante no estudo da superfície: sua tridimensionalização. Este aspecto foi tratado por Barachini (2002), que acaba por definir duas funções da superfície: revestir e definir.

As superfícies, aparentemente podem ser reduzidas a configurações geométricas de apenas duas grandezas - bidimensionalizando-as. Ou podem ser entendidas como extensão de uma área limitada [...]. Todavia as superfícies, se inserem no espaço e não apenas o representam. Tridimensionais por excelência, abertas e interativas. Revestem, e, por vezes são o próprio objeto (BARACHINI, 2002, p.2).

À medida que reveste, a superfície caracteriza o objeto a partir do volume já configurado, mesmo que este seja pouco expressivo. O objeto depende diretamente do volume já existindo enquanto produto e estando apreendido antes da caracterização da superfície, Schwartz e Neves (2009) a define como superfície-envoltório (SE). É o caso, por exemplo, de texturas aplicadas sobre objetos ou ainda gravações, entalhes ou estampagem sobre diversos suportes.

Na ocasião em que define, a própria superfície constrói o objeto de forma a ser organizada simultaneamente ao volume. O objeto depende diretamente da relação entre a superfície e o volume, só sendo completamente apreendido e caracterizado ao final desta interação quando somente então passa a existir como produto. Tais superfícies são chamadas por Schwartz e Neves (2009) de superfície-objeto (SO). Como exemplo, encontra-se a cestaria

onde o objeto surge a partir da trama. Nesta relação a superfície possui caráter estruturador do volume, gerando-o e deixando-se influenciar por ele para a configuração do objeto, as chamadas estruturas que geram superfícies.

Cada vez que se refere ao Design de Moda e à superfície têxtil, duas interpretações são possíveis:

1. A construção do tecido cria uma superfície. Dependendo das fibras, fios e processos empregados para sua composição, obtém-se tecidos com diferentes texturas e aparências, ou mesmo já com padronagens como é o caso do Jacquard, de modo que a própria fabricação do tecido gera uma superfície, pode-se entendê-las como superfície-objeto.
2. Há ainda a possibilidade de criar e aplicar estampas sobre o tecido. Por diferentes processos de estamparia, a superfície têxtil pode receber desenhos, formas e grafismos, neste caso o projeto de estampas caracterizaria o tecido constituindo uma superfície-envoltório.

Uma nova relação é estabelecida quando o tecido se transforma em vestuário, de forma que este pode caracterizar o corpo ou ainda constituir o próprio objeto, que neste caso seria a roupa. A superfície têxtil que inicialmente é bidimensional, construída sob as dimensões de altura e largura, passa a envolver o corpo que é tridimensional. Sendo assim, outra questão precisa ser considerada: a transformação do tecido em roupa, um aspecto importante que não deve ser esquecido quando se projeta uma superfície para o vestuário.

Sob o ponto de vista da geometria, a superfície é definida como uma entidade bidimensional gerada pelo movimento contínuo de uma linha reta ou curva, denominada Geratriz, em relação a uma outra linha ou a uma superfície denominada Diretriz. Sendo assim, a superfície pode ser classificada de acordo com o seu tipo de Geratriz e de Diretriz.

Conhecendo a Geratriz, é possível identificar o volume associado à superfície: se for reta, gerará superfícies regradas, se for curva, superfícies curvas. O mesmo critério indica se as superfícies serão planas, planificáveis ou não-planificáveis. O Quadro 1 resume as possíveis classificações das superfícies de acordo com o tipo de Geratriz.

QUADRO 1: classificação das superfícies quanto ao tipo de geratriz

Classificação das superfícies quanto ao tipo de geratriz			Exemplo
		Superfícies Poliédricas	Poliédricas regulares, semirregulares e irregulares
Regradas	Planificáveis	Superfície Plana	Plano
		Definidas por 1 Ponto e 1 Diretriz	Cônica; cilíndrica; prismática; piramidal ¹
		Definidas por 2 Diretrizes	Convolutas; superfícies de igual pendente
		Superfícies Tangenciais	Helicoidal tangencial
		Outras	
	Não-planificáveis	Definidas por 3 Diretrizes	Parabolóide hiperbólico; hiperbolóide de revolução; cilindróide; conóide; helicoidais regradas; superfícies de arco enviesado ¹
		Outras	Superfícies regradas de uma só face
Curvas		Superfícies de Revolução ²	Esférica, tórica, elipsoidal
		Outras	Serpentina; superfícies mínimas

1. Note-se que há superfícies regradas que são de revolução

2. Note-se que há superfícies de revolução que são regradas

Fonte: adaptado de Schwartz (2008).

Sendo o corpo humano uma superfície não-planificável, são os processos de modelagem, corte e costura responsáveis por transformar os tecidos, materiais geralmente planos, em roupas que cobrirão corpos tridimensionais. Cabe ao Design de Moda desenvolver as estratégias que permitirão ajustar o tecido à superfície do corpo.

Técnicas que fazem uso das propriedades dos tecidos, como a elasticidade e o caimento, além dos recursos construtivos como por exemplo pregas ou pences, são necessários ao processo de planificação de uma superfície não-planificável.

Entender a superfície e o Design de Superfícies no espaço tridimensional é um ponto importante para o Design de Moda, no sentido não só de assimilar as relações que a superfície estabelece com o corpo, mas também perceber como ela por si só se constrói nas três dimensões do espaço, por isso segue-se com a investigação nesta orientação.

2.2. O DESIGN DE SUPERFÍCIES NO ESPAÇO TRIDIMENSIONAL

Diversas abordagens sobre a tridimensionalidade na superfície vestível são possíveis. No têxtil e na moda ela pode ser atingida de maneiras distintas, indo da forma mais complexa de construção até a mais simples de criação de volume na superfície por manipulação.

O espaço tridimensional é aquele que apresenta profundidade além da altura e da largura, variantes também do espaço bidimensional (Figura 2). Os primeiros estudos acerca de objetos com volume são atribuídos a Euclides de Alexandria, um matemático grego que estabeleceu as leis do que hoje é chamado de Geometria Euclidiana, o estudo das relações entre ângulos e distâncias no espaço.

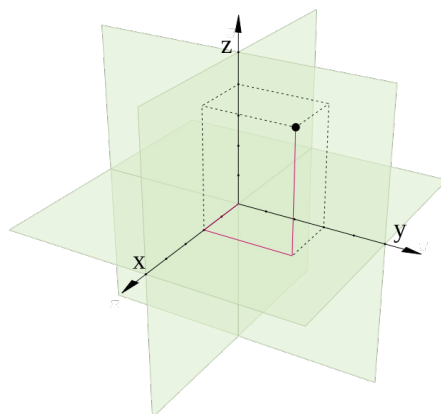


FIGURA 2: tri-eixo cartesiano

Fonte: Svjo (2011).

Objetos tridimensionais fazem parte do nosso dia a dia. É possível afirmar que o espaço bidimensional é apenas um ente teórico, pois no mundo real, qualquer superfície palpável é formada por pelo menos três dimensões (SCOTT, 1979). Porém, na maioria das vezes, trabalha-se no bidimensional para elaboração de projetos para superfícies, principalmente nas superfícies vestíveis.

Geralmente, a tridimensionalidade no têxtil indica relevo sendo aplicada aos tecidos e proporcionando-os estampas que exploram o volume das texturas. Além disso, ela também pode ser encontrada na relação que o tecido estabelece com o corpo por meio da modelagem. De forma que, entender a superfície no espaço tridimensional é, em diversos aspectos, essencial para o Design de Moda.

Para estudar o espaço tridimensional no DS, pode-se começar pelo entendimento dos conceitos que são válidos para as superfícies bidimensionais, de maneira que, há diversas formas de se criar o sistema tridimensional a partir do estabelecido para as criações bidimensionais, seja trabalhando o relevo pela variação da espessura ou ainda trabalhando as faces de módulos com três dimensões.

Da mesma forma que ocorre no DS bidimensional, a construção começa no módulo, que constitui a menor unidade e contém em si todas as informações básicas que serão repetidas ao longo da superfície. No caso da superfície bidimensional (Figura 3), ele é constituído por uma área limitada e na superfície tridimensional possui volume constituído por faces (Figura 4).

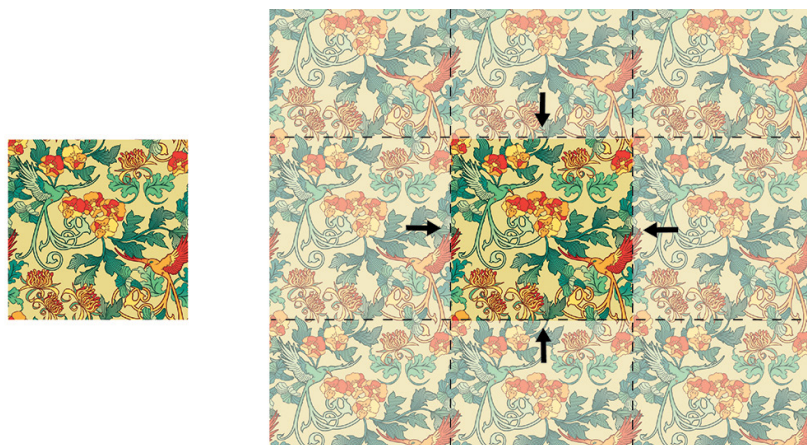


FIGURA 3: exemplo de módulo bidimensional

Elaborado pela autora



FIGURA 4: exemplo de módulo tridimensional

Fonte: Nervous System (2019).

O módulo que será posto em repetição, seja ele bi ou tridimensional, deve prever encaixes. O encaixe é uma característica importante do projeto, pois é o estudo das formas entre um módulo e outro, de modo que, quando encaixados, formarão o desenho proposto pelo designer garantindo o efeito desejado e que o resultado final da superfície e a sensação provocada no observador seja aquela prevista na criação.

Para os encaixes há primeiros dois sistemas básicos: o Alinhado e o Não-Alinhado. Como constata-se observando a Figura 5, nos Sistemas Alinhados os módulos são colocados lado a lado respeitando um alinhamento tanto vertical quanto horizontal. Já nos Sistemas Não-alinhados apenas um alinhamento é mantido, vertical ou horizontal, e o outro é mudado em relação ao seu ângulo ou espaçamento.



FIGURA 5: sistemas básicos para repetição de módulos

Fonte: Rinaldi (2009).

Quando há a repetição do módulo estabelecendo intervalos constantes, estes são chamados de Sistema de Repetição ou *Rapport*, que, segundo Rüttschilling (2008), faz parte da criação do designer e viabiliza variações plásticas e artísticas no efeito final da imagem.

O Sistema de Repetição define a regra que deve ser seguida para a criação do padrão, determinando a maneira como os módulos se relacionarão. Ele consiste basicamente em um Grid formado por células dentro das quais os módulos são posicionados (ROCHA, 2014).

A repetição de um módulo deve ocorrer de uma forma ordenada dentro do padrão seguindo uma simetria. Compreender as simetrias se faz necessário uma vez que elas são a base dos sistemas de repetição. Sobre o tema, Munari (2001) diz que:

“O estudo das formas conduz a formas ou a corpos mais complexos que resultam da acumulação de duas ou mais formas iguais. A simetria estuda a maneira de acumular essas formas e, portanto, a relação da forma básica, repetida com a forma global obtida pela acumulação” (MUNARI, 2001, p.170).

São as simetrias que viabilizam a repetição do módulo, tanto no plano quanto no espaço, gerando a Unidade Compositiva, o Multimódulo e o Sistema, podendo ser aplicadas por meio de operações simples, bem como por meio de operações combinadas (RODHE, 1997) a fim de gerarem o padrão e formarem a malha.

As simetrias podem ser divididas em dois grupos: simetrias rígidas (ou isométricas) e simetria não rígidas (ou homeomórficas). As simetrias rígidas são denominadas de movimentos no plano por modificar apenas a posição da figura inicial (LIRA, 2011). As simetrias rígidas simples são Reflexão, Translação e Rotação, conforme exemplificado na Figura 6.



FIGURA 6: simetria rígidas
Elaborado pela autora

A dilatação, segundo Rohde (1997), é uma simetria homeomórfica, que amplia a forma, estendendo-a ou contraindo-a sem modificar suas proporções e relações angulares (Figura 7).



FIGURA 7: simetria de dilatação
Elaborado pela autora

O sistema de repetição pode se construir a partir de um sistema menor que ele. A este sistema menor que funciona como módulo, repetindo-se, dá-se o nome de multimódulo, ou seja, um sistema de módulos origina outros sistemas, forma diferentes desenhos e aumenta as possibilidades combinatórias (RÜTSCHILLING, 2006). A Figura 8 apresenta alguns exemplos de multimódulo a partir do mesmo módulo utilizado na Figura 6.

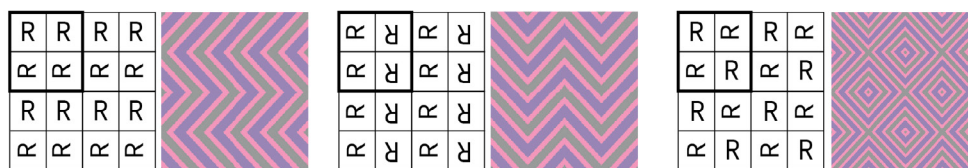


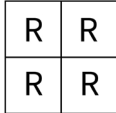

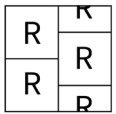

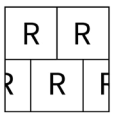

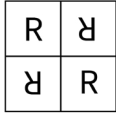

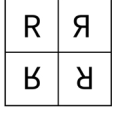

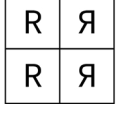

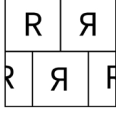

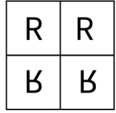

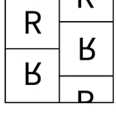

FIGURA 8: Multimódulos

Fonte: adaptado de Rüstschilling (2006).

As simetrias podem ainda se apresentarem de forma combinada, o que corresponde ao uso simultâneo de dois ou mais tipos de simetrias (ROHDE, 1997). As simetrias combinadas são bastante utilizadas no Design Têxtil na geração de diferentes tipos de sistemas resultando em inúmeras soluções para criação de padrões.

O quadro 3 apresenta aplicações das simetrias e algumas de suas possíveis combinações, comumente aplicadas no Design têxtil, e as exemplifica a partir da repetição de um mesmo módulo bidimensional.

QUADRO 2: simetrias aplicadas ao Design têxtil

SISTEMA	DEFINIÇÃO	EXEMPLO
Full drop	É um sistema alinhado de repetição baseado na Translação. Constitui-se no sistema de repetição mais simples. Suas linhas e colunas se encontram totalmente alinhadas.	 
Half drop	É um sistema não-alinhado de repetição baseado também na Translação. Suas colunas se encontram deslocadas uma em relação à outra pela metade da medida do módulo.	 
Brick	É um sistema não-alinhado de repetição baseado também na Translação. Suas linhas encontram-se deslocadas uma em relação à outra pela metade da medida do módulo.	 
Stripe	É um sistema alinhado de repetição onde predomina linhas verticais, horizontais ou diagonais. Equivale à Inversão.	 
Turn-over	É um sistema de repetição alinhado, baseado na simetria de reflexão em dois eixos até o preenchimento total da superfície. Equivale à Reflexão em dois eixos.	 
Mirror Vertical	É um sistema de repetição que pode ser alinhado, baseado na simetria de reflexão. Equivale à Reflexão em um único eixo.	 
Mirror Vertical c/ deslocamento horizontal	É um sistema de repetição não-alinhado, baseado na simetria de reflexão. Equivale à Reflexão com Translação em um único eixo.	 
Mirror Horizontal	É um sistema de repetição alinhado, baseado na simetria de reflexão. Equivale à Reflexão em um único eixo.	 
Mirror Horizontal c/ deslocamento vertical	É um sistema de repetição não-alinhado, baseado na simetria de reflexão. Equivale à Reflexão com Translação em um único eixo.	 

Fonte: adaptada de Schwartz (2008).

Outra possibilidade de repetição modular é o conceito de equivalência de área. A estruturação da superfície ocorre a partir de um módulo inicial que tem sua fronteira deformada, mas mantém a mesma área. Este método permite que a partir de transformações isométricas aplicadas na equivalência de área (Figura 9), seja possível transformar qualquer uma das três formas básicas (triângulo equilátero, quadrado e hexágono) numa infinidade de outras formas (NASCIMENTO; BENUTTI; NEVES, 2013). Constrói-se módulos mais complexos obtendo-se resultados visuais mais interessantes ao criar ou cobrir uma superfície.

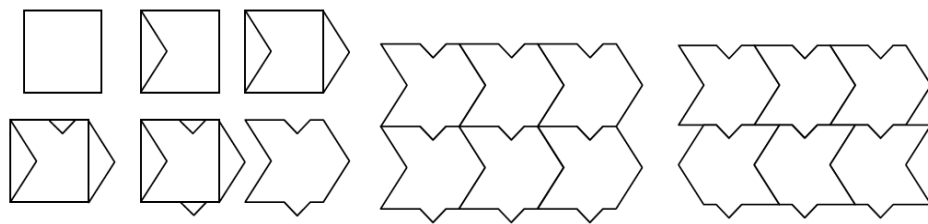


FIGURA 9: Transformação por equivalência de área

Fonte: Nascimento, Benutti, Neves (2013).

O artista holandês Maurits Cornelis Escher foi um grande estudioso nessa área e criou inúmeros mosaicos baseados no conceito de transformação da forma por equivalência, estes trabalhos ficaram conhecidos como malhas de Escher. A Figura 10 mostra um dos trabalhos do artista, enquanto a Figura 11 apresenta uma releitura da mesma obra transpondo-a para módulos tridimensionais produzidos por meio da impressão 3D.

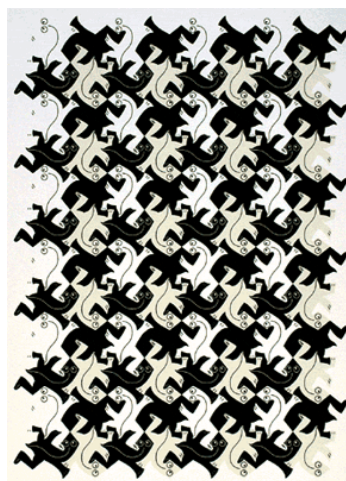


FIGURA 10: Malha de Escher

Fonte: Rufus (2017).



FIGURA 11: releitura da malha de Escher com módulos tridimensionais
 Fonte: Escher Lizards 3D Print (2018).

A partir das simetrias cria-se a malha geométrica, que é a estrutura organizada dos elementos Módulo e Sistema Repetição. Barison (2005) define a malha como um espaço aberto entre os nós de uma rede.

Cada tipo de repetição originará diferentes desenhos nas malhas utilizando-se o mesmo módulo ou conjunto de módulos (multimódulo). A malha é definida ao se repetir e combinar uma ou várias formas geométricas diversas vezes seguindo uma regra estabelecida, que define maneira, ordem, lugar, e como o módulo será repetido.

No caso de os nós de uma malha estarem situados num plano, como os nós se interligam por segmentos de reta, os espaços abertos entre eles tomam a forma de polígonos planos, cujos vértices são os próprios nós da malha (BARISON, 2005).

Da mesma forma que o módulo bidimensional, quando inserido no espaço tridimensional, o módulo é formado por polígonos compostos por três itens: vértices, arestas e faces. Quando juntamos vários polígonos, estes definirão o contorno do objeto 3D no mundo virtual, também criando uma malha.

O vértice é um ponto referencial no espaço virtual 3D, é invisível, não tem altura, largura ou profundidade, é a unidade básica de qualquer representação de um objeto virtual 3D, sendo apenas uma referência de posição tridimensional, representado por sua localização nos eixos X, Y, Z em referência ao centro ou origem. Os vértices podem ser compartilhados por duas ou mais bordas.

A aresta é a informação que representa a conexão entre dois vértices, sua função é relacionar dois pontos no espaço tridimensional. Já a face é o próprio polígono, possuindo altura e largura, e dois lados, o lado de dentro e o lado de fora, sendo que só um lado do polígono é visível já que o outro geralmente está virado para dentro da malha (KRSNADEVA, 2009).

A malha estrutura e caracteriza o volume (objetos), e facilita as relações entre sua superfície no plano e no espaço. No caso da Superfície-objeto, a malha pode equivaler a uma estrutura física, que inclusive pode possuir função de organização de elementos para definição de novos produtos.

Segundo Sá (1982) existem dois tipos de malhas: as aleatórias, que são inúmeras e não seguem regras de formatação, e as malhas repetitivas, que não existem em grande quantidade, apenas 41 tipos, mas seguem regras de formação e, deste modo, têm comportamento estrutural previsível e analisável.

As **malhas aleatórias** são infinitas, já que um grupo de pontos em um plano define uma malha, defende Barison (2005). As malhas repetitivas dividem-se em regulares, semirregulares, duais, deformadas e dinérgicas. As malhas regulares, segundo Barbosa (1993) são formadas por apenas um tipo de polígono regular, obtidas com quadrados, hexágonos regulares e triângulos equiláteros (Figura 12).

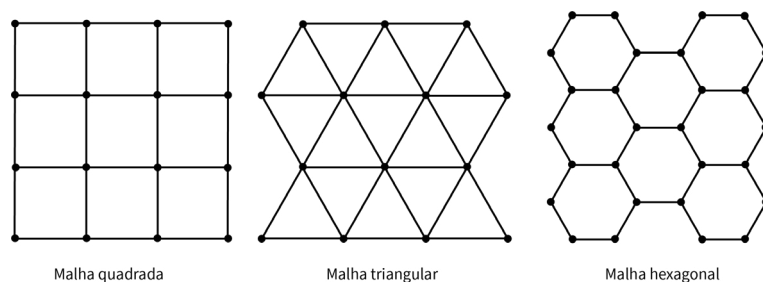


FIGURA 12: malhas regulares
Elaborado pela autora

As **malhas semirregulares**, são formadas por combinações de polígonos regulares em torno de um ponto (BARISON, 2005), a Figura 13 apresenta alguns exemplos de malhas semirregulares.

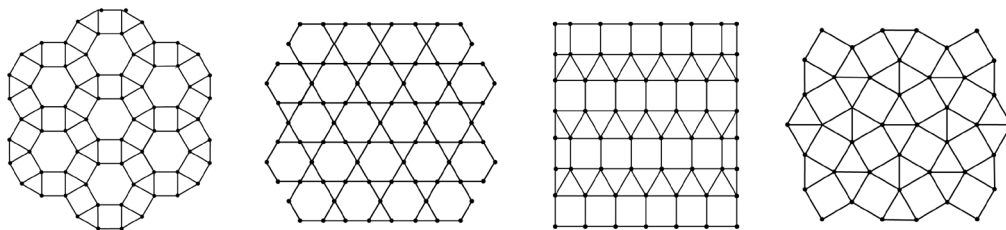


FIGURA 13: exemplos de malhas semirregulares
Elaborado pela autora

As **malhas duais** são aquelas que têm por nós os centros dos polígonos definidos pelas malhas semirregulares. Desse modo, as malhas regulares são duais de si mesmas: a triangular é dual da hexagonal (e vice-versa) e a quadrada é dual dela própria (Figura 14).

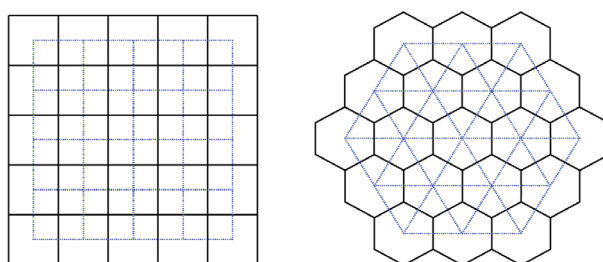


FIGURA 14: exemplos de malhas duais
Elaborado pela autora

As malhas regulares apresentam uma relação formal e estrutural podendo ser reduzidas basicamente a malhas triangulares (SCHWARTZ, 2008). De forma que o triângulo é o elemento básico de estruturação modular, que estabelece tal relação tanto no plano quanto no espaço, e que, dependendo da malha, será do tipo equilátero, isósceles, retângulo ou escaleno. Será plano, se utilizado numa malha que descreve superfície plana, ou com alguma curvatura, se utilizado em malha que descreve superfície curva.

Segundo Schwartz (2008) qualquer textura ou relevo, desde que organizados numa estrutura regular, podem ser originados a partir de um triângulo básico. A malha triangular pode ser considerada uma malha universal de forma que pode ser empregada, com as devidas deformações estruturais, para descrever o formato da superfície de qualquer objeto (Figura 15).

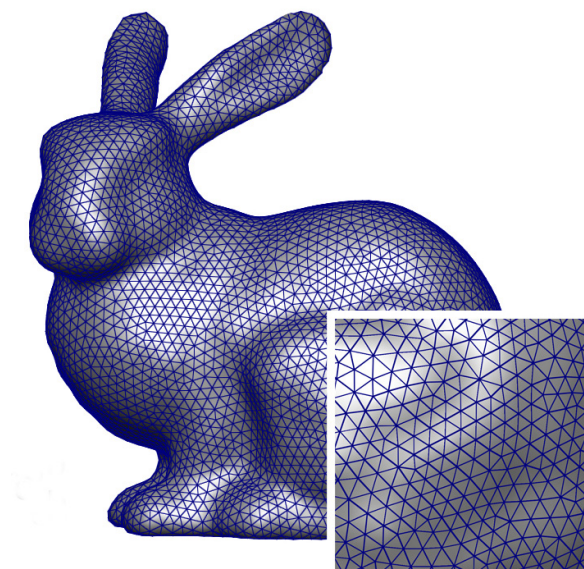


FIGURA 15: malha triangular descrevendo uma superfície

Fonte: Oliveira (2012).

Ainda sobre as características do triângulo, segundo Pearce (1990), este é o único polígono estável em virtude de sua geometria e, passando para o espaço tridimensional, somente poliedros totalmente triangulados são geometricamente estáveis.

As malhas que descrevem superfícies curvas podem revestir a superfície do corpo no espaço tridimensional. Desta forma, ao criar superfícies em ambiente virtual tridimensional para o vestuário, encontra-se os conceitos do Design de Superfícies, seja na aplicação de desenhos e estampas seja na própria construção da superfície que se relacionará com o corpo.

3. SUPERFÍCIES VESTÍVEIS

A superfície vestível é aquela que se relaciona diretamente com o corpo, de forma que ligações são estabelecidas entre ambos. O contato entre superfície e corpo implica que sejam conferidas algumas características a estas no sentido de tornar possível este relacionamento. Aspectos visuais, táteis e características como o conforto e o movimento são de grande relevância e os principais elementos a serem trabalhados. Nesta parte do trabalho investiga-se como se constituem as superfícies vestíveis e quais são as características que as tornam próprias para o uso junto ao corpo.

3.1. DO TEAR À IMPRESSÃO 3D

Antes de estudar os recentes processos e possibilidades para fabricação de superfícies vestíveis, ou ainda propor novos procedimentos, é necessário conhecer os métodos de obtenção, os materiais utilizados e como a indústria teve início e se configurou ao longo da história chegando aos moldes encontrados hoje. Portanto, passa-se a revisar os principais materiais empregados para produção têxtil e os processos pelos quais tais matérias-primas são transformadas em tecidos.

O objetivo é conhecer cronologicamente como os materiais e processos foram surgindo e se modificando para posteriormente analisar como as mudanças ocorreram e configuraram o cenário atual visando propor novas superfícies e novas formas de construí-las diante das necessidades contemporâneas e das possibilidades proporcionadas pelas tecnologias atuais empregando-as na construção de superfícies que poderão envolver o corpo.

3.1.1. MATERIAIS UTILIZADOS AO LONGO DA HISTÓRIA

A necessidade dos seres humanos de proteção contra as intempéries da natureza é a mais provável causa do surgimento das vestimentas. O primeiro material utilizado para tal fim foi a pele dos animais, que inicialmente era obtida de maneira bastante rudimentar, constituía uma superfície dura e desconfortável que limitava os movimentos do corpo. A partir de então teve início a preocupação com o tratamento destas superfícies buscando técnicas para deixá-las mais próprias ao uso.

O primeiro processo utilizado, segundo relatos históricos, foi a mastigação das peles, que era exercida pelas mulheres, prosseguida pela umidificação e sova. Mais tarde, para garantir durabilidade e impermeabilização além de ajudar a conservar a pele maleável por mais tempo, foram esfregados sobre as peles óleos ou gordura de animais marinhos, também foram utilizadas substâncias extraídas de árvores para deixar o material mais flexível e permitir cortes (LAVÉ, 2006).

Depois da pele dos animais, ainda na pré-história foi inventada a feltragem, técnica onde fibras animais e vegetais eram molhadas, sobrepostas em camadas perpendiculares, impregnadas de óleo ou gordura animal, batidas e compactadas de maneira a se juntarem em uma superfície única que po-

deria ser cortada e costurada. A começar pela feltragem, o ser humano descobriu as fibras animais e vegetais que deram origem aos primeiros tecidos.

A lã foi o próximo material a ser utilizado para compor superfícies vestíveis, a partir do desenvolvimento da agricultura, das atividades pastoris e dos primeiros teares. Deu-se, então, o surgimento dos tecidos mais parecidos com os que conhecemos atualmente. Além da lã, inicialmente obtida das ovelhas, outros materiais de origem animal eram utilizados como os pelos de coelho, camelo, alpaca, lhama e cabras. Posteriormente, a seda proveniente do casulo da lagarta do bicho da seda também passou a ser utilizada, sobretudo na China.

A lã e a seda são ainda hoje as duas principais fibras de origem animal utilizadas para compor os tecidos usados no vestuário. Existe uma grande variedade de tipos de lã, obtidos a partir do pelo de diferentes animais e classificadas de acordo com o seu tipo e finura, sendo possível obter tecidos de lã com diversas características e propriedades. A Lã pode ser cardada ou penteada. Os tecidos cardados são feitos de fios macios e levemente torcidos. Os tecidos penteados utilizam fios mais fortes e resistentes que resultam em superfícies mais lisas e uniforme. No que diz respeito à seda, esta é considerada uma fibra mais resistente, além de ser longa e bem macia, apresenta alta absorção, o que permite que a pele respire.

Matérias-primas de origem vegetal, como o linho, também começaram a ser utilizadas para tecelagem ainda na Idade Antiga, inicialmente no Egito. Passou-se a obter diferentes tipos de estruturas a partir dos diferentes materiais utilizados. O linho permitiu constituir tecidos mais finos e maleáveis possibilitando modelagens com mais dobras e mais variações de uso da superfície têxtil.

Outra fibra de origem vegetal descoberta na Idade Antiga foi o algodão, que hoje constitui a fibra têxtil mais utilizada no mundo. Por ser uma fibra longa e resistente garante qualidade e durabilidade aos tecidos. Suas características permitem que a pele respire construindo superfícies apropriadas para lugares quentes uma vez que absorve umidade e seca facilmente.

Depois da descoberta das possibilidades de uso das fibras de origem animal e vegetal ainda na Idade Antiga, o próximo grande passo para a construção dos têxteis, no que diz respeito a inovação da matéria-prima, se deu apenas em 1869, na Alemanha, com a criação do fio sintético que somente em 1920 passou a ser utilizado na fabricação de tecidos. No final do século XIX teve início a Era da Química (COPPOLA, 2010) que trouxe ao mercado da moda fibras artificiais e sintéticas e as popularizou.

As fibras sintéticas são aquelas obtidas a partir de produtos químicos, extraídos do petróleo ou do carvão. Apresentam características como grande resistência a luz solar, cores firmes e pequena absorção de umidade. Já as fibras artificiais, apesar de também serem produzidas em laboratório, utilizam como matéria-prima polímeros naturais de origem celulósica ou proteica. Usadas inicialmente em setores de alta tecnologia como a indústria aeroespacial, militar e esportiva, as fibras sintéticas e artificiais passaram a ser mais empregadas na fabricação de tecidos no período pós-guerra devido à escassez de materiais naturais.

A primeira fibra química artificial, o raíom (viscose), foi apresentada em 1891 chamada na época de seda artificial (PEZZOLO, 2012). A segunda fibra, desenvolvida logo após a Primeira Guerra Mundial, em 1921, foi obtida a partir da celulose e ficou conhecida como raíom acetato, uma vez que envolve na sua produção o acetato de celulose. Assim, várias novas fibras surgiram como resultado de inúmeros processos de síntese.

A poliamida, criada em 1935, é uma fibra sintetizada em laboratório que também surgiu como uma alternativa à seda e se popularizou em razão de suas características como a alta resistência e o fato de não amassar. O náilon, derivado da resina de poliamida é considerado o mais nobre dos fios sintéticos e o primeiro a ser produzido industrialmente. Dentre muitas propriedades, ele oferece alta resistência mecânica.

Outras duas importantes fibras sintéticas foram o acrílico e o elastano. O acrílico foi lançado em 1947 e produzido em larga escala a partir de 1950, constituindo um tecido forte, usado na confecção de tecidos de malha e forro de botas, luvas e paletós, com a vantagem de serem mais baratos, leves, e de boa resistência. O elastano começou a ser utilizado em 1959 nos Estados Unidos, sendo que no início era um fio bastante grosso usado na confecção de cintas cirúrgicas, que a partir de sua popularização foi ficando mais fino e passou a ser empregado principalmente na confecção de lingerie e moda praia, com propriedades que tornam possível o ajuste da superfície têxtil ao corpo.

O poliéster, também conhecido como tergal, é outra importante fibra sintética utilizada tanto em malharia como em tecidos planos, popular por ser a mais barata das fibras, os avanços tecnológicos têm permitido que se pareça cada vez mais com o algodão.

A Figura 16 apresenta um esquema das principais fibras empregadas atualmente para a construção de tecidos.

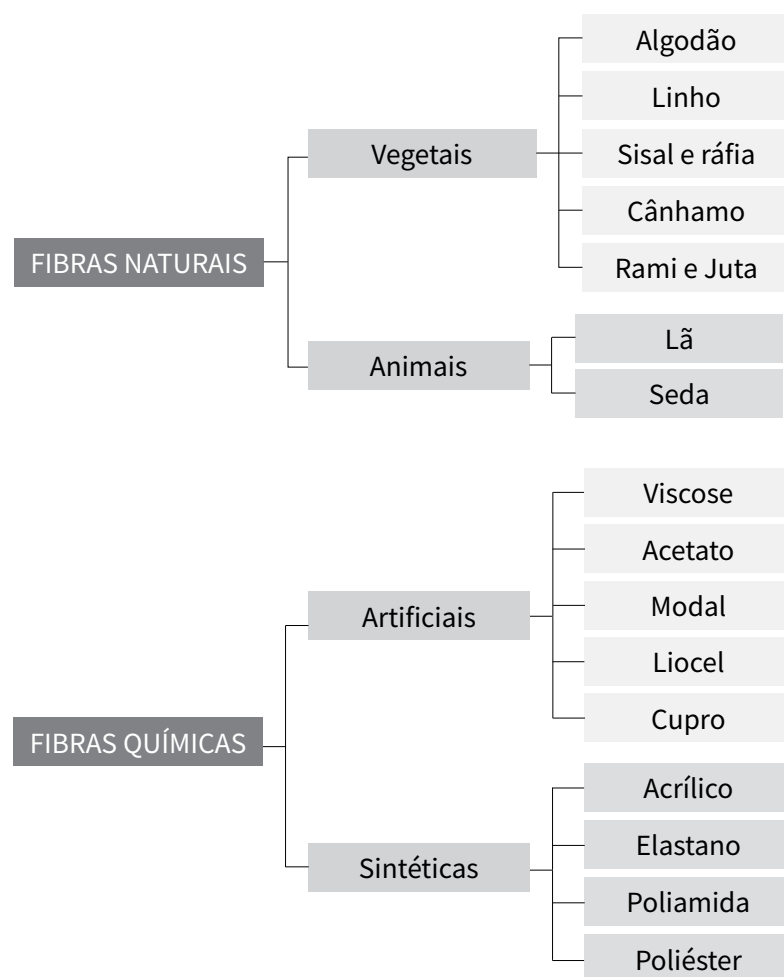


FIGURA 16: esquema com as principais fibras têxteis
Elaborado pela autora.

Outros tipos de fibras ainda podem ser encontrados na natureza ou mesmo produzidos quimicamente, sendo possível completar o esquema acima com classificações ainda mais amplas e complexas. Porém, este estudo delimita-se a conhecer as fibras mais comuns empregadas para fabricação de tecidos que são utilizados no vestuário.

As fibras têxteis possuem propriedades que as diferenciam e fazem com que sejam selecionadas para a produção de tecidos, encontra-se aí a importância de conhecê-las. As principais características físico-químicas, segundo Pezzolo (2012) são:

- Finura - diz respeito ao diâmetro ou espessura. Quanto mais fina for a fibra, mais agradável será o toque do tecido que esta produzirá.
- Elasticidade - é a propriedade que as fibras possuem de voltar ao seu estado natural depois de alongadas por uma força de tração.

- Resistência - características que certas fibras apresentam de voltar ao estado original após terem sido amarrotadas.
- Toque - é a sensação de conforto que certas fibras proporcionam quando em contato com a pele.
- Hidrofilidade - capacidade de absorção e retenção. Essa propriedade é encontrada em fibras têxteis naturais.
- Hidrofobidade - capacidade de absorver lentamente a água ou até mesmo de repeli-la.
- Comportamento diante de produtos químicos - avaliação da fibra quando em contato com ácidos, álcool e solventes orgânicos.
- Desgaste - análise do comportamento das fibras mediante ação de agentes mecânicos.

Nos processos tradicionais de fabricação de tecidos, as fibras após extraídas ou fabricadas e tratadas são transformadas em fios. O processo de transformação das fibras em fios é chamado de fiação (PEZZOLO, 2012).

Os fios podem ser divididos em quatro grupos principais, fio penteado, fio cardado, fio fantasia e fio tinto. No fio penteado são eliminadas as fibras mais curtas e as impurezas que não foram retiradas anteriormente por meio de um equipamento chamado penteadeira. O fio cardado possui mais fibras curtas em virtude de não passar pela penteadeira. Já o fio fantasia, adquire por meio de beneficiamento, aspecto ou toque diferente, com o objetivo de valorizar e diversificar o tecido. O fio tinto é aquele que recebe coloração antes de entrar na tecelagem (PEZZOLO, 2012).

Existem dois processos principais de fiação: a fiação a anel e a fiação por rotor. A fiação a anel é utilizada para fibras curtas e longas e em ambos os casos pode resultar em fios cardados e fios penteados. Neste processo os fios sofrem torção no sentido direito ou no esquerdo, realizada de fora da fibra para dentro, o que gera um fio mais macio tanto no núcleo como na sua superfície. O fio obtido pela fiação a anel oferece maior resistência, mas seu custo é maior em relação à fiação por rotor.

A fiação por rotor tem custo menor por causa da simplificação do ciclo de formação do fio, é o método mais prático para a produção de fios e bastante utilizada para aproveitar resíduos de outros sistemas de produção, uma vez que apresenta melhores resultados trabalhando com fibras mais curtas. O fio produzido por este método tem maior capacidade de alongamento, característica importante para a malharia.

Depois de produzido o fio, tem início a fabricação do tecido que, atualmente, ocorre por meio da tecelagem. Das fibras fiadas, tecidas e coloridas artesanalmente pelos povos da Antiguidade até o que é oferecido hoje pela indústria têxtil e as novas experimentações realizadas nos últimos anos por empresas e designers, um longo caminho foi percorrido. Durante muitos séculos a fabricação de tecido permaneceu exclusivamente como trabalho manual em todas as suas etapas e foi se modificando à medida que as tecnologias avançaram tendo como marco a revolução industrial.

Para entender a configuração dos atuais processos de obtenção da superfície têxtil se faz necessário voltar à sua história e acompanhar os passos dados nesta evolução. O desenvolvimento dos tecidos acompanha a história da humanidade e por vezes esteve na vanguarda da inovação tecnológica. Portanto, passa-se a estudar o progresso na fabricação dos tecidos.

3.1.2. A INDUSTRIALIZAÇÃO E USO DAS NOVAS TECNOLOGIAS

Depois da feltragem, o ser humano logo descobriu a tecelagem a partir do momento em que passou a ter abrigo fixo. Uma vez que os teares eram grandes e pesados e, portanto, difíceis de transportar (LAVER, 1989). Foi a partir da organização em comunidade, com a descoberta da agricultura, que a tecelagem teve início.

O tear é o principal instrumento utilizado para a fabricação de superfícies têxteis atualmente, em linhas gerais, ele permite o entrelaçamento ordenado de dois conjuntos de fios, longitudinais e transversais, para a formação da superfície têxtil. Segundo Pezzolo (2012) o funcionamento do tear é baseado em quatro elementos essenciais: urdume, trama, cala e pente. A Figura 17 mostra o princípio do tear e seus elementos básicos.

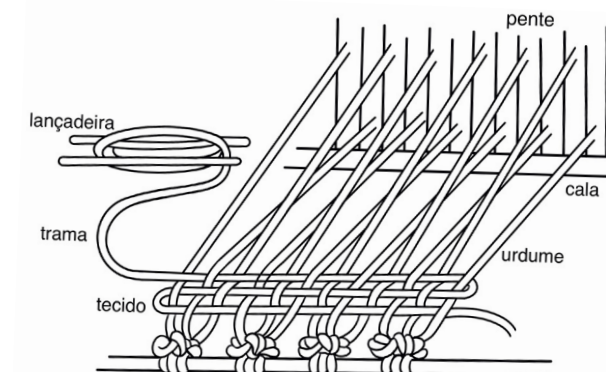


FIGURA 17: desenho dos elementos básico do tear

Fonte: adaptado de Pezzolo (2012).

O urdume consiste no conjunto de fios tensos, paralelos e colocados previamente no sentido do comprimento do tear; a trama é o segundo conjunto de fios, passados no sentido transversal, por entre os fios do urdume, com auxílio de uma lançadeira, por uma abertura denominada cala, que por sua vez, consiste na abertura entre os fios ímpares e pares da urdidura. O pente constitui-se na peça básica que permite levantar e abaixar alternadamente os fios do urdume para permitir a abertura da cala e a posterior passagem da trama.

O tear permaneceu sendo operado manualmente até a Revolução Industrial. O primeiro passo para a mecanização foi dado com a criação da fiandeira mecânica objetivando a mecanização da manufatura da lã. No entanto, as fibras de lã apresentaram dificuldades de serem trabalhadas, de forma que encontraram nas fibras do algodão a viabilidade necessária para a mecanização do processo. Segundo a cronologia estabelecida tanto por Moraes (1998) como por Hobsbawm (2011) os incrementos mecânicos no setor têxtil algodoeiro começaram a se desenvolver e a se multiplicar em meados do século XVIII.

Depois das fiandeiras, a próxima etapa para a mecanização foi a invenção da lançadeira volante mecânica (Flying Shuttle) em 1733, por John Kay (MORAES, 1998). Adaptada aos teares manuais, ela propiciou o aumento na capacidade de tecer e permitiu a obtenção de tecidos mais largos, até então a largura dos tecidos era limitado a largura dos braços do tecelão (PEZZOLO, 2012).

Com a invenção da lançadeira volante e o consequente aumento da produção a fabricação de fios passou a não suprir a necessidade das fábricas, “o problema técnico que determinou a natureza da mecanização da fabricação do algodão foi o desequilíbrio entre a eficiência da fiação e da tecelagem” (HOBBSAWN, 2011, p. 55). Na tentativa de solucionar o problema, John Wyatt e Lewis Paul, criaram em 1738 a primeira máquina de fiar.

Mais tarde, em 1763, James Hargreaves inventou o filatório manual, anos depois, em 1767, James aperfeiçoou sua invenção criando a Spinning-jenny, a máquina possibilitou que o operário controlasse mais fusos de fiação de uma só vez. Sua média de produção variava de 20 a 30 fios em um espaço correspondente à produção de apenas um fio no processo manual anterior (ARAGÃO, 2002), a invenção acelerou a produção dos fios, mas este ainda eram finos e quebradiços (PEZZOLO, 2012).

Em 1769, Richard Arkwright desenvolveu uma máquina para fiar que utilizava um sistema hidráulico, conhecida como Water Frame. Anos depois, em 1779, Samuel Crompton resolveu o problema na obtenção de fios com a combinação dos elementos de Hargreaves e Arkwright, criando o Spinning Mule, um filatório automático que permitiu a construção de fios finos e resistentes, suprimindo totalmente a necessidade do mercado, de maneira tão eficiente que o material antes em falta começou a sobrar (SILVA; NEVES; SILVA; PASCHOARELLI, 2014).

A energia para o tear criado por Arkwright vinha originalmente de rodas d'água, por meio de eixos, correias e engrenagens. Mas durante o século XIX, a energia hidráulica, que era insuficiente, foi sendo substituída pela energia a vapor a partir do aperfeiçoamento da máquina a vapor de James Watt. Desde então diversos inventores foram aperfeiçoando o tear mecânico, de forma que em meados do século XIX, havia quase 300 mil destas máquinas em uso só na Grã-Bretanha. A madeira das peças foi aos poucos sendo substituídas por metal, garantindo resistência aos teares e, conseqüentemente, estimulando o avanço da siderurgia.

Outra importante contribuição para o avanço da indústria têxtil ocorreu nos Estados Unidos, em 1793, quando Eli Whitney criou o descaroçador de algodão que separava os grãos das fibras permitindo um grande desenvolvimento à indústria do algodão que foi intensificado pela mecanização na fiação.

À medida que a industrialização foi crescendo, o ritmo de produção aumentava, com teares cada vez maiores e com menos utilização de mão de obra. Com produtos mais baratos, o consumo também aumentou. Logo a industrialização atravessou fronteiras e se espalhou pela Europa, América e Ásia.

Ao analisar a história percebe-se como a fabricação de tecidos fez parte da evolução da humanidade e, por vezes, foi precursora de avanços tecnológicos, como no caso da indústria do algodão que impulsionou a mecanização, apresentando um importante papel na revolução industrial.

Atualmente pode-se encontrar alguns tipos diferentes de teares entre eles os teares com lançadeiras, considerados teares de primeira geração; os teares de projétil e os teares de pinça, conhecidos como de segunda geração; e os teares jato de ar e jato de água, que são os de terceira geração. A modificação do tear ocorreu buscando aperfeiçoar a qualidade dos tecidos e também a velocidade de produção.

Os teares de segunda e terceira geração não possuem lançadeira e permitem uma grande velocidade de trabalho, além de não apresentarem restrições quanto à largura do tecido a ser produzido.

Com a coexistência de diferentes tipos de teares, a escolha na indústria se dá em função das características do tecido a ser produzido. Analisa-se o peso do tecido, o grau de absorção de água, a resistência dos fios e liberação de resíduos. E além dos teares citados anteriormente, empregados para a fabricação dos tecidos planos, pode-se encontrar os teares para malharia que oferecem diferentes sistemas para entrelaçamento dos fios, detalhados no próximo item deste capítulo.

Conhecendo a história e evolução dos tecidos é possível analisar a capacidade da superfície têxtil de refletir as características estéticas e as tecnologias vigentes em determinado período da história. Quinn (2009) afirma que os tecidos têm mantido sempre a promessa do futuro, as fibras entrelaçadas, como apresentado, significaram um grande avanço aos primeiros seres humanos, de forma semelhante, a invenção do tear a vapor na indústria têxtil do algodão ajudou a impulsionar a Revolução Industrial, importante marco na história da humanidade.

Ao analisar a história é possível notar o caráter de vanguarda que a moda possui por sua capacidade de popularizar desenvolvimentos, da mesma maneira que fica evidente sua capacidade de mover a economia. Usufruir dos avanços tecnológicos e sempre estar atento às inovações nas formas de produção é parte fundamental do trabalho do designer e pode significar uma inovação bastante relevante no atendimento às necessidades da indústria e do consumidor atual.

3.2. ESTRUTURAS TÊXTEIS

Na fabricação de têxteis, as estruturas bidimensionais têm maior tradição. Os tecidos convencionais, conhecidos como planos, já citados anteriormente, consistem em dois conjuntos de fios mutuamente entrelaçados em uma estrutura têxtil. Os fios que correm ao longo do comprimento do tecido são chamados de urdidura, enquanto os fios que correm ao longo da largura do tecido são conhecidos como trama.

Os fios da urdidura e da trama são posicionados a um ângulo de 90°. O número de fios da urdidura e da trama por unidade de comprimento são chamados de densidade de urdidura e trama. O entrelaçamento dos fios da urdidura e da trama pode se dar de várias maneiras, chamadas de estrutura do tecido.

A estrutura na qual os fios da urdidura alternadamente levantam-se e atravessam um fio de trama e vice-versa é a estrutura tecida mais simples, chamada de trama simples ou tafetá. Outras estruturas comuns são as do tecido de sarja e a do cetim. A sarja é uma trama que produz linhas diagonais na face de um tecido. A direção das linhas diagonais vistas ao longo da direção da urdidura pode ser de cima para a direita ou para a esquerda, fazendo Z ou S, respectivamente.

Nos tecidos do tipo cetim, os locais de ligação entre trama e urdidura são dispostos de maneira a produzir uma superfície de tecido lisa e sem linhas da sarja. Ou seja, nos tecidos cetim há menos interseções e uma construção mais aberta, a distribuição dos pontos de entrelaçamento deve ser a mais aleatória possível para evitar linhas de sarja. A menor repetição de tecido acetinado é 5, enquanto os tecidos mais populares são cetins de 5 a 8 repetições (HU, 2008). A Figura 18 apresenta um esquema básico de como os fios são entrelaçados na tecelagem plana.

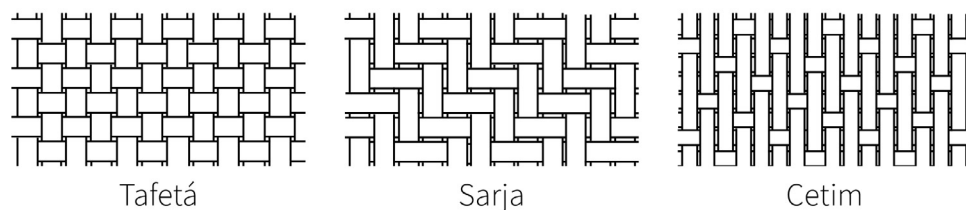


FIGURA 18: esquemas básicos da tecelagem de tecidos planos
Fonte: Hu (2008).

Há também os tecidos com estrutura triaxial, que possuem três sistemas de fios: um sistema para a trama e dois para urdidura. Este tipo de tecido tem três camadas de material em qualquer ponto e é, portanto, mais forte do que um tecido retangular feito usando os mesmos elementos. Os fios de urdidura em um tecido triaxial básico são entrelaçados a 60° e a estrutura é razoavelmente aberta com um centro de forma de diamantes. Uma modificação do tecido triaxial básico é o tecido de cesta, que forma uma estrutura mais próxima com características diferentes.

Os tecidos triaxiais (Figura 19) possuem propriedades mecânicas excepcionais em várias direções. Como os pontos de entrelaçamento são fixados na estrutura do tecido, esses têxteis apresentam alta resistência ao cisalhamento (LEE; RUDOV-CLARK; MOURITZ; BANNISTER; HERSZBERG, 2002).

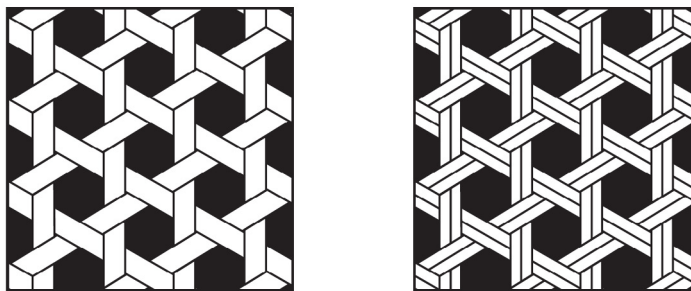


FIGURA 19: sistemas básicos dos tecidos triaxiais

Fonte: Hu (2008).

Existem ainda os tecidos do tipo malha. São estruturas têxteis montadas a partir de unidades básicas de construção chamadas de loops (HU, 2008). Existem dois sistemas básicos para os teares para malharia: malharia por trama e malharia por urdume. Na malharia por trama os fios são entrelaçados na direção horizontal sendo que estes teares podem ainda ser retilíneos ou circulares. No sistema de malharia por urdume o entrelaçamento é feito no sentido longitudinal. A Figura 20 mostra o esquema de entrelaçamento dos fios na malharia por trama e na malharia por urdume.

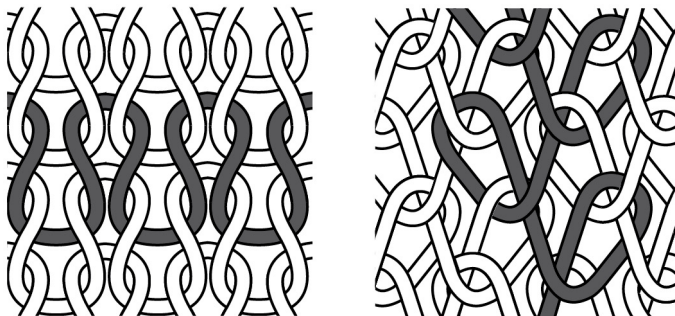


FIGURA 20: esquema malharia por trama e por urdume

Fonte: adaptado de Veblen (2018).

No tecido do tipo malha de trama, a unidade de repetição é chamada de loop. A principal característica do tecido do tipo malha de trama é que os laços de uma linha de tecido são formados a partir do mesmo fio, ou seja todas as agulhas são alimentadas por um mesmo fio ou grupo de fios.

Nas malhas de trama, os laços são formados sucessivamente ao longo da largura do tecido, ou seja, a tricotagem se processa no sentido da trama. A característica do tecido tricotado é que os laços vizinhos de um curso são criados do mesmo fio.

Na malha de urdidura, cada laço na estrutura do tecido é formado por um fio separado entrelaçados no sentido da urdidura, introduzidos principalmente na direção longitudinal do tecido. O recurso mais característico deste tipo malha é que os laços vizinhos de um curso não são criados a partir do mesmo fio.

Embora a tecnologia dos tecidos do tipo malha de trama seja mais comumente usada na fabricação de roupas, a tecnologia da malha de urdidura é bastante utilizada em aplicações técnicas. De especial interesse para as aplicações técnicas são as estruturas com fios de trama inseridos. Os tecidos com aplicações técnicas, são aqueles têxteis utilizados em embarcações marítimas, em aeronaves, em automóveis de alto desempenho e na infraestrutura civil, como edifícios e pontes.

Desta forma, as estruturas tridimensionais utilizadas na fabricação de tecidos são chamadas têxteis tridimensionais, pois possuem um sistema ou sistemas em todos os três eixos do plano. Estes materiais oferecem propriedades particulares, tais como força de cisalhamento e estabilidade mecânica e térmica ao longo dos três eixos do espaço, que não são alcançáveis com outros reforços (HU, 2008).

3.2.1. ESTRUTURAS TÊXTEIS TRIDIMENSIONAIS

Embora não sejam utilizados para o vestuário, existem os têxteis que são produzidos a partir de estruturas tridimensionais. As aplicações técnicas são as maiores responsáveis pelo consumo e desenvolvimento destas estruturas. Elas se distinguem das estruturas bidimensionais, por serem tramadas também em sua espessura.

Num tecido tridimensional, os fios de urdidura e de trama são unidos por uma série de fios de urdidura. Vários arranjos de colocação de fios são usados para produzir uma gama de reforços nas multicamadas da estrutura (YI; DING, 2004). A Figura 21 apresenta duas estruturas típicas de tecidos 3D, exemplificando como pode ocorrer o entrelaçamento dos fios.

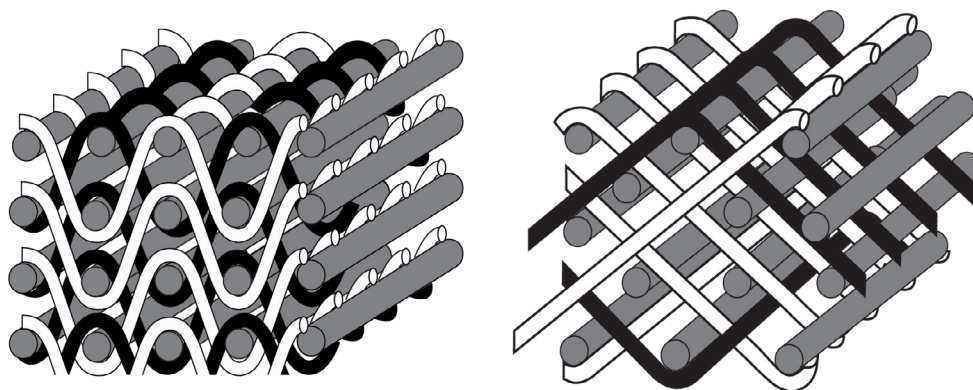


FIGURA 21: estruturas 3D típicas

Fonte: adaptado de HU (2018).

Existem também os tecidos tridimensionais do tipo malha, que podem ser divididos em três grupos principais: multiaxiais (multicamadas), sanduíche e malha com geometria espacial (DORIN; RAMONA; LUMINITA; COSTEA, 2010).

A técnica para a obtenção de malhas multiaxiais é considerada complexa e foi desenvolvida para suprir a necessidade de materiais resistentes para indústrias como a automobilística. Na produção deste tipo de malha, uma máquina tece diferentes fios em diferentes orientações, sempre com um ou mais pontos de intersecção entre si, com a finalidade de formar uma camada dotada de volume e com pouco espaço entre fios. A Figura 22, apresenta um esquema de como pode ocorrer o entrelaçamento dos fios no tecido do tipo malha tridimensional multiaxial.

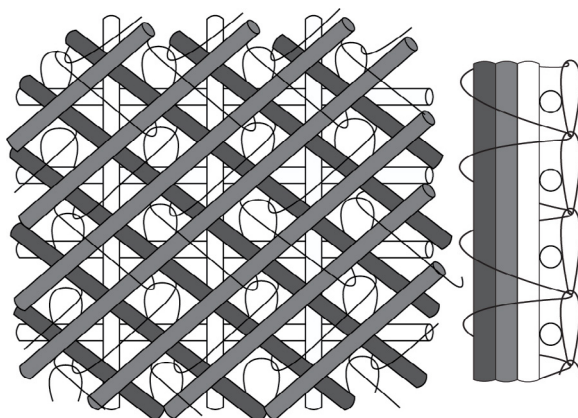


FIGURA 22: estrutura do tecido do tipo malha multiaxial

Fonte: adaptado de Ciobanu (2011).

A malha sanduíche é formada por estruturas compostas por duas camadas de malha produzidas separadamente, que podem ser de materiais e estruturas diferentes, unidos por uma nova tricotagem que serve como uma ligação entre essas duas camadas (RAY, 2012). Como característica principal, este tipo de malha apresenta o espaço tridimensional criado pela sua formação. A geometria formada pela ligação entre as duas camadas da malha pode ser modificada, permitindo controlar suas propriedades para definir sua finalidade de uso (PENCIUC, et al., 2010). A Figura 23 mostra um esquema de como se dá a construção deste tipo de tecido.

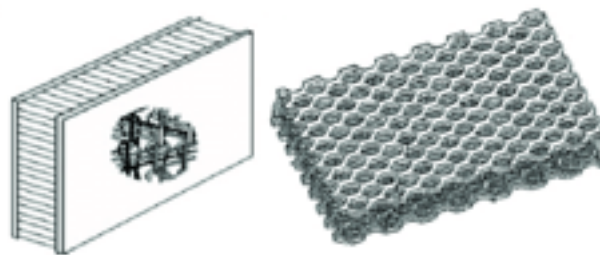


FIGURA 23: esquema do tecido do tipo malha sanduíche

Fonte: Bilisik; Karaduman; Bilisik, (2016).

Os tecidos do tipo malha com geometria espacial, também conhecidas como malhas com efeito 3D, são aquelas que por efeito de sua construção possuem variação volumétrica e de formas em sua superfície. São obtidas de várias formas em máquinas retilíneas e circulares e mais facilmente quando as máquinas apresentam dois sistemas de agulhas, pelo fato de poder se trabalhar espacialmente na construção da malha separadamente em cada sistema ou bancada de agulhas, conectando e formando tridimensionalidade ao encontrar, reter, transferir e adicionar pontos. Com apenas um sistema de agulhas, a possibilidade de criar tridimensionalidade fica limitada a alguns fatores e também pela combinação das laçadas normal, carregada e flutuante (OLIVEIRA, 2016). A figura 24 apresenta um exemplo de tecido do tipo malha com efeito 3D.



FIGURA 24: tecido malha com geometria espacial

Fonte: Pavko-Čuden; Rant (2017).

Apesar de haver algumas desvantagens no processo de desenvolvimento de formas tridimensionais, como por exemplo a programação necessária e o tempo de produção, os tecidos do tipo malha tridimensional são valorizadas dentro da indústria devido algumas de suas características: grande possibilidade de diversificação pela engenharia de espessura, desenvolvimento de estruturas diferentes, opacidade independente de ambos os lados e preenchimento dos espaços entre as malhas com um material para formar volume. Estas qualidades conferem a eles um grande potencial que pode ser explorado para projetar produtos com propriedades controladas para diferentes aplicações (PENCIUC, BLAGA & CIOBANU, 2010).

3.3. AS PROPRIEDADES DOS TECIDOS

Os têxteis, principal superfície vestível utilizada, constituem-se em importantes elementos de construção que ampliam as possibilidades de reestruturação do corpo, na medida em que se prestam à configuração de silhuetas (SOUZA E MENEZES, 2014). No caso do vestuário, a construção ocorre quando se alia o material têxtil com a modelagem. Aldrich (2007) aponta cinco características como cruciais para a obtenção de produtos com adequada integração entre modelagem, material e forma, que são: peso, espessura, distorção, drapeabilidade, elasticidade.

- Distorção, entende-se como a deformação que pode ocorrer entre os fios de urdume e os de trama;
- A drapeabilidade refere-se ao cair do tecido;

- A elasticidade, diz respeito à capacidade de esticar proporcionada pela própria fibra e estrutura de entrelaçamento dos fios.

Estas características devem ser analisadas pois exercem grande influência no comportamento e no aspecto visual dos produtos, alterando sua estrutura e a relação que estabelece com o corpo.

Aprofundando as definições acerca da drapeabilidade na concepção e desenvolvimento tradicionais do vestuário, Filgueiras (2008) afirma que esta é determinante de muitas qualidades práticas do vestuário. Ela permite que o tecido seja moldado na forma desejada e está diretamente vinculada à silhueta e ao caimento do produto sobre as formas do corpo, influenciando a aparência estética. A propriedade do cair, segundo Broega (2007), é aquela que torna os materiais têxteis únicos em termos de formabilidade – que é a capacidade de transformar estruturas bidimensionais em tridimensionais.

No caso da fabricação digital, a concepção e a produção já ocorrem tridimensionalmente em ambiente virtual. As características acima citadas devem ser analisadas nos softwares disponíveis para tais fabricações e se darão em virtude do material utilizado para confecção, fator determinante do projeto. Quando o vestuário é construído virtualmente as propriedades do material e o comportamento previsto para o mesmo são de relevância não só gráfica ou estética, são elas que determinarão a vestibilidade da peça.

3.3.1. CONFORTO

Uma das principais características que uma superfície deve apresentar para ser utilizada junto ao corpo é a de ser confortável. Buscando pelas definições de conforto, encontramos que se trata do estado agradável de harmonia fisiológica, psicológica e física entre o ser humano e o ambiente, apresentando-se como uma necessidade universal e fundamental para a humanidade (BROEGA E SILVA, 2010).

Com relação ao vestuário, o contato direto com a pele faz com que o conforto sensorial seja um dos aspectos mais importantes. Broega (2007) acrescenta que o vestuário é a nossa segunda pele e para além da função estética este tem principalmente a função protetora. Sendo assim, não se pode falar em Design de vestuário sem falar em conforto, de forma que ambos são indissociáveis.

Nesta relação com o vestuário, Higgins e Anand (2003) afirmam que o conforto é definido em três aspectos: físico, fisiológico e psicológico.

- Aspecto físico: está relacionado às sensações provocadas pelo contato direto do tecido com a pele e pelo ajuste da confecção ao corpo e aos seus movimentos.
- Aspecto fisiológico: está ligado à interferência do vestuário nos mecanismos de metabolismo do corpo, em especial o termorregulador.
- Aspecto psicológico: diz respeito a um conjunto de fatores relacionados à estética, aparência, moda, meio social e cultural.

Nas roupas, a percepção se dá na maioria das vezes de forma subjetiva, envolvendo os processos psicológicos onde toda a percepção sensorial é formulada, processada, combinada e avaliada à luz das experiências passadas e dos desejos do presente, de modo a formular uma avaliação total do estado de conforto (ALENCAR E BOUERI, 2012). Além da percepção subjetiva, as interações corpo-vestuário tanto térmicas como mecânicas desempenham funções muito importantes na determinação do estado de conforto do portador, bem como os ambientes externos, no que tange aos aspectos físicos, sociais e culturais.

A percepção subjetiva do conforto compreende processos abordados pela “psicologia sensorial”, em que um grande número de estímulos gerados pelo vestuário e ambientes externos são transmitidos ao cérebro, por meio de canais sensoriais. De forma que, se torna difícil descrevê-lo ao passo que identificar o desconforto torna-se mais simples. Tendo isso em vista, Slater (1997) definiu o conforto como “a ausência de dor e de desconforto em estado neutro”.

Neste sentido, amplia-se a visão dos aspectos do conforto dadas por Higgins e Anand (2003), e tem-se que o conforto total pode ser analisado sob quatro aspectos fundamentais: conforto termofisiológico, que traduz um estado térmico e de umidade à superfície da pele, que envolve a transferência de calor e de vapor de água por meio dos materiais têxteis ou do vestuário; o conforto sensorial, que corresponde ao conjunto de várias sensações neurais, quando um têxtil entra em contato direto com a pele; o conforto ergonômico, que corresponde à capacidade que uma peça tem de “vestir bem” e de permitir a liberdade dos movimentos do corpo; o conforto psico-estético, que se refere à percepção subjetiva da avaliação estética, com base na visão, toque, audição e olfato, que contribuem para o bem-estar total do portador

(SLATER, 1997). Em todas estas definições, há um número de componentes essenciais que, estando o conforto relacionado com a percepção subjetiva de várias sensações, abrange muitos aspectos sensoriais humanos e que devem ser buscados como objetivos no resultado final dos produtos (BROEGA, 2007).

Compreender todos os aspectos influenciadores do conforto para os produtos de moda visando melhorar a usabilidade e a funcionalidade por meio do Design e do avanço tecnológico, é de fundamental importância. No projeto do vestuário, quando visto sob o aspecto subjetivo, o conforto pode ser considerado como difícil de medir, geralmente é relacionado com o bem-estar do ser humano e comparado com a comodidade, devendo ser o objetivo principal ao se projetar um produto de vestuário.

Segundo Broega (2007), apesar do caráter subjetivo que o conforto possui, é possível realizar uma avaliação objetiva dos seus parâmetros para se atingir o conforto pretendido, tratando de técnicas de análise subjetivas, que se iniciaram no setor alimentar, mas hoje já aplicadas ao setor têxtil. No Design de Moda (vestuário) tratam-se na prática da aplicação de questionários de avaliação subjetiva ao utilizador, (conduzidas por traçados de diagramas básicos, que representam a forma anatômica do corpo humano e onde os utilizadores registam as suas avaliações) e os seus resultados são usados para interpretação da modelagem do vestuário.

O conforto deve proporcionar ao usuário a liberdade de movimentos, podendo ser conseguido com a adequação da matéria-prima ao estilo do modelo, com a técnica de modelagem aplicada segundo critérios ergonômicos e medidas antropométricas corretas.

Ao tratar da matéria-prima nos referimos diretamente aos materiais têxteis. Sobre o conforto percebido acerca dos materiais, Broega e Silva (2010) afirmam que em grande parte este depende das propriedades sensoriais de toque e termofisiológicas dos tecidos, pelo que muitas são as propriedades físicas, térmicas e mecânicas que devem ser levadas em consideração na concepção do vestuário. Por parte do usuário comum esta avaliação geralmente é completamente subjetiva, baseada nos sentidos e experiência de cada um, sem qualquer base científica.

Desta forma, o conforto no vestuário é obtido por meio de uma série de fatores começando pelos aspectos objetivos na seleção de matérias primas, passando pelos fatores ergonômicos e de usabilidade no desenvolvimento do projeto do vestuário, chegando aos fatores subjetivos ligados a questões sociais, culturais e à estética.

3.3.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONFORTO NOS PRODUTOS IMPRESSOS

Sobre a percepção do conforto nos produtos impressos tridimensionalmente, Yap e Yeong (2014), afirmam que, comercialmente, os materiais de impressão 3D ainda necessitam de bastante desenvolvimento para que se obtenha uma melhoria no conforto e na flexibilidade dos tecidos a fim de produzir roupas verdadeiramente vestíveis para o uso diário. Apesar da melhora nos últimos anos, atualmente, os materiais de impressão 3D são caros e limitados o que impede que muitos designers entrem neste novo campo.

Novas impressoras 3D e novos materiais estão sendo desenvolvidos. Empresas como a TamiCare, que atuam no setor de inovação têxtil, estão trabalhando no desenvolvimento de tecnologias de impressão 3D têxtil a fim de produzir tecidos sob medida utilizando polímeros líquidos como látex natural, o silicone, o poliuretano e o Teflon, e também fibras têxteis, a viscose e a poliamida.

Schmid (2005) afirma que um produto de Design deve valorizar não apenas o sentido da visão, mesmo este sendo o que melhor aprecia a estética e a harmonia, mas deve contemplar cada vez mais o conforto total do seu utilizador. Sendo a visualização o primeiro contato do usuário do produto com a peça do vestuário uma vez que o apelo estético do produto percebido pela visão é o primeiro a despertar o interesse no produto, mas depois vem a parte do toque e o manipular (experimental) o artigo que depois leva à compra do produto. Em um modelo virtual fica deficitário a percepção sensorial do toque, que só pode ser compensada pelo aspecto (aparência) do conforto dos materiais utilizados no produto, que o ideal é que fossem primeiros testados e experimentados garantindo a qualidade do produto final e que essa qualidade ou experiência pudesse ser de alguma forma transmitida ao potencial cliente.

A tecnologia 3D muda completamente a configuração no material têxtil até então conhecida. A mudança do tear para a impressora traz uma nova organização que implica a busca de novas soluções, diferente da tecelagem dos fios na trama e no urdume, outras alternativas têm sido trabalhadas pelos designers, que serão detalhados no Capítulo 4.

3.4. OS DESAFIOS DA MODA FRENTE À FABRICAÇÃO DIGITAL

Muitas das questões que envolvem a fabricação digital vão ao encontro das questões que perpassam a prática do Design contemporâneo e se refletem na moda como um todo, por esse motivo, revisa-se a seguir os conceitos e as práticas do Design contemporâneo para entender como a fabricação digital se insere neste contexto bem como os desafios que ela encontra.

Historicamente, a idade contemporânea tem início no ano de 1789, época da Revolução Francesa, e se estende até os dias atuais. Dentro deste período estão inseridos diversos fatos históricos que foram moldando a sociedade e determinando seus hábitos. Fruto destes acontecimentos, o capitalismo, a sociedade de consumo, o crescimento populacional, a urbanização das cidades, a industrialização, a globalização, a rapidez com que as informações passaram a circular, o desenvolvimento tecnológico e digital e as seguidas mudanças sociopolíticas, econômicas e culturais trouxeram mudanças intensas e configuraram a concepção do design.

Bonsiepe (1992) afirma que as transformações da sociedade, da cultura e da tecnologia se refletem nas mudanças do próprio conceito de Design e das temáticas do discurso projetual. O projeto contemporâneo deve levar em conta o presente da mesma forma que analisa o passado que propiciou o momento em que se encontra, incorporando a observação, o estudo e a pesquisa, estando sempre em movimento, acompanhando, atualizando e refletindo sobre as questões presentes na sociedade e as dinâmicas culturais que cercam os indivíduos. Uma vez que tem como foco o ser humano, há a necessidade de que o tempo em que este vive e as questões com as quais se relaciona sejam consideradas, e é nesta premissa que o Design contemporâneo pode ser estabelecido.

Complexas mudanças ocorrem na maneira de viver e de estar no mundo, envolvidos pelos sistemas de informação e de comunicação, pelas novas e diferentes formas de relacionamento entre as pessoas, as coisas e os objetos, espaços e ambientes, além de outros pensamentos e ideais que aportam na vida das pessoas e geram novas maneiras, atitudes e hábitos no cotidiano (MOURA, 2014).

Analisar o que impulsiona hábitos e estilos de vida é matéria do Design contemporâneo, pois as mudanças, a complexidade, o modo de viver, interferem na concepção, no projeto e na produção que ocorrem no campo de design.

Nesta análise, é necessário o relacionamento entre ciências para que haja uma leitura precisa do tempo presente. Assim, surge a necessidade da interação e do diálogo entre diversos campos de conhecimento e linguagens, como por exemplo, a sociologia, a filosofia, a história, a comunicação, a psicologia, dentre outras, tornando o Design contemporâneo transdisciplinar. Da mesma maneira, são rompidas as fronteiras entre áreas dialógicas, tais como a arte, a engenharia, a arquitetura, a moda, podendo essas atuarem em conjunto com áreas que a princípio parecem mais distantes como a medicina, a física, a química, a biologia. O projeto é pensado de forma mais abrangente, incorporando conhecimentos, atitudes e desafios.

Nota-se que o modo de atuação do Design contemporâneo se faz principalmente por meio de sistemas coletivos, onde grupos de criação e desenvolvimento de projetos e produtos relacionam diferentes saberes provenientes das diferentes áreas de formação e atuação de seus integrantes. Nestes grupos não há hierarquia, o que confirma a ação interdisciplinar e as possibilidades transdisciplinares presentes na ação projetual e atesta o declínio do conceito de autoria, outra característica marcante no contemporâneo. Segundo Burdek (2016), na atualidade, objetos e produtos adquirem novos significados e são utilizados em diferentes situações de vida. Portanto, o mundo contemporâneo cada vez mais complexo não pode ser dominado pelo designer individualmente.

A relação do ser contemporâneo com os objetos e a forma de elegê-los mudou. Na busca pela personalização, pela individualização e a procura por sua identidade, o ser humano passou a procurar prazer por meio dos objetos.

O projeto do Design passa a ser desenvolvido a partir da premissa que o seu resultado impacta o indivíduo, a sociedade e o meio ambiente, sujeitando-se a cumprir requisitos tais como a sustentabilidade, a universalidade de uso, a inclusão social, a incorporação e desenvolvimento da inovação, sem deixar de lado as questões ergonômicas de usabilidade, garantindo a satisfação de desejos, a boa experiência de uso e construção de significados para o usuário (NIEMEYER, 2014). Sendo assim, nota-se que o Design deve incorporar atitudes e desafios políticos e sociais em busca de um pensamento projetual mais amplo e consistente, tornando sua configuração diversa, com inúmeras possibilidades de relações e associações.

Lipovetsky (2007) divide a história do consumo em três grandes ciclos para que se entenda a forma de consumir no que o autor denomina hipermodernidade: o primeiro ciclo vai de meados dos anos 1880 até a segunda grande guerra mundial; o segundo começa por volta de 1950 e vai até o final da década de 1970; e o terceiro tem início na década de 1980 e se faz presente, com cada vez mais intensidade, até os dias atuais.

O primeiro ciclo tem como principais características a expansão da produção em grande escala, a busca do lucro pela baixa no preço de venda, a popularização do consumo de bens não duráveis e duráveis e o começo dos grandes magazines que abriram espaço para o surgimento do marketing e da publicidade.

O segundo ciclo é denominado por Lipovetsky (2007) como a “sociedade do consumo em massa”, onde houve a elevação da qualidade de vida da população e o acesso às mercadorias que antes eram restritas à elite. Neste período a quantidade era o que importava, houve a ampliação do consumo de bens duráveis, o surgimento dos hipermercados, o crescente aumento dos investimentos em marketing, e especialmente, o surgimento de artifícios provenientes da mídia e da publicidade, visando reduzir o tempo de vida útil das mercadorias. Foi quando surgiram os conceitos de obsolescência programada por meio do incentivo a consumir e a descartar bens em busca de objetos atualizados.

O crescimento e a melhoria das condições de vida durante o ciclo dois tornaram-se o projeto e o objetivo das sociedades ocidentais. A partir deste ponto o consumo começou a tomar novos rumos: o culto ao bem-estar começou a reduzir a lógica do consumo com vistas à distinção social de classes para promover um modelo de consumo mais individualista, voltado à satisfação das necessidades particulares (ANDRADE; HATADANI, 2010), este modelo evoluiu e tomou proporções muito maiores chegando ao terceiro ciclo, que tem seu apogeu nos dias atuais.

Atualmente, o consumo está intrínseco à vida no contemporâneo de forma a ser improvável a possibilidade de desassociá-lo do ser humano, estabelecendo-se uma cultura baseada no consumo.

Desde que a organização da sociedade foi estabelecida em torno do consumo, este passou por mudanças dando lugar a um modelo mais complexo, deslocando o foco do plano coletivo para o individual. O Capitalismo da era industrial de outrora encontrou seu declínio frente às novas estraté-

gias empregadas pelas empresas, que contribuem para construir um novo modelo econômico.

Diferente da regulação fordiana anterior, o modelo de produção passou a ser menos centrado em produtos padronizados produzidos em massa e mais em estratégias inovadoras, tais como a diferenciação dos produtos e serviços, a proliferação da variedade, a aceleração do ritmo de lançamento de novos produtos e a exploração das expectativas emocionais dos consumidores. “O capitalismo centrado na produção foi substituído por um capitalismo de sedução focalizado nos prazeres dos consumidores por meio das imagens e dos sonhos, das formas e dos relatos” (LIPOVETSKY; SERROY, 2010).

A partir desta premissa, a competitividade das empresas já não se baseia tanto na redução dos custos, na exploração das economias de escala, nos ganhos permanentes de produtividade, e sim em vantagens concorrenciais mais qualitativas, imateriais ou simbólicas. As empresas contemporâneas passam a apostar em novas fontes de criação de valor, notadamente por meio de estratégias focalizadas nos gostos estéticos-afetivos dos consumidores o que, segundo Lipovetky e Serroy (2015), forjam o chamado modelo pós-fordiano ou pós-industrial da economia liberal. O lugar do consumidor/usuário se deslocou, antes o usuário servia ao consumo e era pouco ouvido, agora o consumo é revisto e o usuário faz parte do processo de criação tendo voz e seus anseios sendo considerados.

Este novo estágio do capitalismo, cunhado pelos autores como hiperconsumo, possui características muito específicas, uma delas está na amplificação da mentalidade de consumo já existente, porém este chega a lugares que até então não eram considerados mercantilizáveis - tais como a família, a escola, a ética. Um novo tipo de consumo subjetivo, emocional, experiencial, voltado mais à satisfação do eu do que à exibição social e a busca de status. Desta forma, o objetivo do hiperconsumidor é tornar a existência materialista mais qualitativa e mais equilibrada, sem abrir mão das vantagens do mundo moderno (LIPOVETSKY, 2007).

Uma maneira de consumo responsável emergiu na recusa do consumismo sem consciência. O chamado “consumo consciente” significa consumir melhor, com mais qualidade e de forma mais responsável para com o meio ambiente, representando uma “forma de suspeita em relação às grandes instituições, à reflexividade dos comportamentos individuais, às buscas qualitativas” (LIPOVETSKY, 2007, p.345).

Sendo assim, pode-se concluir, conforme afirmam Kim, Ahn e A Forney (2014) que a experiência de consumo tem se tornado, paulatinamente uma orientação de valor que está alterando a maneira como o consumidor pensa, adquire informação e toma decisões sobre as atividades de consumo.

Quando se trata da moda esta pode ser um bom exemplo da contemporaneidade. Agabem (2009) afirma que é a moda que define a descontinuidade no tempo, marcando-o segundo sua atualidade ou inatualidade, o estar ou não na moda. O espírito de efemeridade e a obsolescência, que buscam incessantemente pelo novo e pelo diferente, são também outras importantes características que justificam a moda como exemplo da contemporaneidade.

Benarush (2008) propõe que entendamos a roupa como um artefato da cultura material, sendo esta, a disciplina que visa compreender os artefatos que produzimos e consumimos e a maneira como estes se encaixam em sistemas simbólicos e ideológicos. A partir deste entendimento, nota-se como as peças do vestuário podem ser testemunho de sua época possuindo identidade cultural, social, nacional, sendo um dos principais reflexos do tempo ao qual é contemporânea, elas materializam um tempo, refletindo a noção ideológica deste e representando a sociedade que as criaram.

Ao analisar uma peça de roupa pode-se inferir detalhes da sua construção, do tecido, das técnicas e tecnologias utilizadas, desta forma ela se torna um documento a partir do qual se pode construir conhecimento sobre uma determinada época, da tecnologia que a cerca, dos aspectos simbólicos e ideológicos nos quais está inserida sua produção. Atualmente é possível encontrar na moda características que definem o Design contemporâneo e suas diversas vertentes como um todo. Os mesmos grupos que refletem o Design atual, também encontram essas características na produção do vestuário.

Outro atributo da moda reside no fato desta, de certa forma, incentivar a obsolescência perceptiva e a programada, o que estimula o desenvolvimento contínuo de novos produtos, muitas vezes com ideias e projetos revistos, semelhantes ou reciclados. Estes participam da criação e alimentam uma série de segmentos e coleções na dinâmica do mercado consumidor ávido pelo novo, o diferenciado, personalizado, customizado (MOURA; COELHO, 2014).

A relação tradição e inovação é outro traço presente no Design contemporâneo que é refletido na moda. Ainda hoje utilizamos os princípios das primeiras técnicas utilizadas pela humanidade que foram modificadas e aperfeiçoadas com o surgimento de tecnologias, da mesma forma que há um

resgate de técnicas artesanais como o crochê, o tricô e o bordado indicando como a tradição e a tecnologia convivem no mundo atual.

Frente à globalização que a princípio pressupõe a produção massificada, encontra-se na contramão desse sistema uma valorização de técnicas manuais na confecção de objetos que estimula novas ações na área do Design de moda visando à produção de bens com identidade, cultura e com aspectos atrativos ao mercado. Desta forma, os designers mantêm em seus projetos traços modernos e estabelecem relações com o contemporâneo por meio de tecnologias diferenciadas ou questões sustentáveis presentes em seus produtos.

O Design contemporâneo também estabelece uma relação entre o Design e a tecnologia no momento em que busca a inovação atrelada aos diferenciais do mercado na produção industrial, esta mesma vertente também se faz presente no Design de moda, não somente no contemporâneo, mas em toda a sua história. A própria primeira revolução industrial teve início com a tecelagem do algodão, com as primeiras máquinas a vapor que atuavam na fabricação de tecidos, e mais tarde a utilização das fibras sintéticas para a fabricação de roupas fez com que as descobertas na área química se popularizassem e passassem a integrar o cotidiano.

Hoje, uma importante tecnologia desponta como possibilidade de inovação na produção de artefatos: a fabricação digital por meio da manufatura aditiva. Esta tecnologia vai ao encontro das necessidades do consumidor atendendo a vários requisitos presentes na ideologia do consumo atual, como por exemplo a criação colaborativa e a interdisciplinaridade entre áreas do conhecimento. O uso deste modo de produção para o Design de moda pode trazer ao mercado o diferencial que o usuário deseja encontrar, apresentando uma possibilidade de popularização em futuro próximo, sendo a aposta de alguns estilistas na criação e experimentação propiciando alto nível de inovação e diferenciação significativa ao produto de moda. As primeiras coleções que utilizam a técnica já despontam e criam expectativa no mercado. Tendo isto em vista, passa-se a estudar os processos e conhecer as possibilidades de sua aplicação na moda.

4. IMPRESSÃO 3D

Também conhecida como Impressão 3D, a manufatura aditiva (AM) teve sua origem a partir dos trabalhos, pesquisas, técnicas e processos desenvolvidos para a fotoescultura e para a topografia (VOLPATO, 2017). Os processos como conhecemos hoje tiveram sua idealização entre os anos 1980 e 1990, tendo como objetivo inicial a criação rápida de protótipos para os produtos desenvolvidos na indústria, por isso, estas técnicas ficaram inicialmente conhecidas como prototipagem rápida. Em 1981, Hideo Kodama, membro do Instituto de Pesquisa Municipal de Nagoya, criou dois métodos aditivos para fabricar modelos plásticos tridimensionais com polímeros termo sensíveis, porém o primeiro registro da tecnologia só foi realmente efetuado em 1986 com o nome de Stereolithography Apparatus (SLA), por Charles Hull.

Charles Hull também foi o co-fundador da empresa 3D System Corporation, uma das maiores no setor de tecnologia de impressão 3D. Nos anos 90, o processo protótipo inicial passou por variações tecnológicas e outros sistemas foram desenvolvidos, como Selective Laser Sintering (SLS) e o Fused Deposition Modelling (FDM), este último foi registrado pela empresa Stratasys que atualmente mantém maior destaque no setor de impressão.

A partir dos anos 2000 a tecnologia foi passando por diversas alterações, em 2010 houve um declínio nos custos marcado pela introdução no mercado de uma impressora 3D com valor inferior a mil dólares. A partir de 2012, processos alternativos de impressão 3D foram abertos ao mercado culminando com a divulgação e popularização da tecnologia (KUHN; MINUZZI, 2015). A partir de então, uma série de pesquisas e experimentações foram iniciadas e logo surgiram os primeiros projetos integrando a tecnologia à moda, permitindo a transgressão dos limites até então existentes e trazendo relevantes contribuições para a inovação na área.

4.1. A APLICAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NO VESTUÁRIO

O Black Drape Dress (Figura 25) uma das primeiras roupas impressas em 3D (CREATIVELY ADVANCING 3D PRINTING, 2020), foi desenvolvido em 2000 pelo designer industrial holandês Jiri Evenhuis em colaboração com o designer finlandês Janne Kyttanen. Atualmente, o vestido integra o acervo do MoMA (Museum of Modern Art). Para a produção da peça foi utilizada a tecnologia SLS (Selective Laser Sintering), que faz uso de lasers para fundir um pó e construir formas 3D, tendo como matéria prima o náilon.



FIGURA 25: Black Drape Dress

Fonte: Joe Kucharski (2015).

O designer Janne Kyttanen deu início a um grupo especializado em Design e pesquisa tecnológica, o Freedom of Creation, onde criou o White Drape Dress, sua segunda peça vestível em 3D. A partir de então, o grupo desenvolveu diferentes superfícies, chamadas de FOC Textiles (Figura 26), por meio da tecnologia de impressão tridimensional. Pelo que se pode observar, os tecidos são compostos por estruturas produzidas pela manufatura aditiva que se agrupam formando tramas que se assemelham visualmente com as técnicas empregadas na fabricação convencional das malhas têxteis.

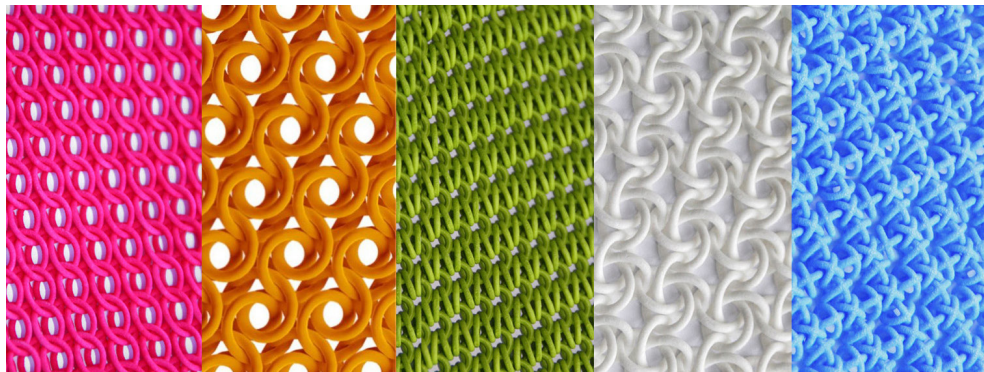


FIGURA 26: FOC Textiles

Fonte: 3D Systems (2019).

Nas passarelas, a primeira coleção a apresentar uma peça impressa tridimensionalmente (Figura 27) foi criada pela designer de moda holandesa Iris Van Herpen, em 2010. O desfile ocorreu na Amsterdam Fashion Week, onde a designer desfilou sua coleção intitulada Crystallization.



FIGURA 27: top impresso em 3D de Iris van Herpen

Fonte: Iris van Herpen (2019).

Desde então a designer de moda vem apresentando peças criadas a partir da impressão 3D em todas as suas coleções, experimentando diferentes composições e matérias primas. Em seu desfile na Paris Haute Couture, em julho de 2011, o vestido Skeleton (Figura 28) foi o destaque.



FIGURA 28: vestido Skeleton

Fonte: Iris van Herpen (2019).

Em janeiro do ano seguinte a estilista apresentou a coleção Micro, entre as peças estavam o vestido intitulado Cathedral (Figura 29), uma peça impressa com detalhes esculturais em três dimensões construída a partir da tecnologia SLS, tendo como matéria prima a poliamida.



FIGURA 29: vestido Cathedral

Fonte: Iris Van Herpen (2019).

Outro destaque foi a coleção Hybrid Holism que apresentou a peça intitulada Symbiosis Dress (Figura 30). Sua produção fez uso de uma técnica chamada ‘Mammoth Stereo lithography’, um método onde a peça é impressa de baixo para cima, em um recipiente com polímeros que enrijecem quando atingidos pelo laser. A técnica permitiu uma peça estrutura translúcida com aparência líquida.



FIGURA 30: vestido Symbiosis

Fonte: Iris Van Herpen (2019).

Mais uma inovação veio pelas mãos da designer em 2013: a coleção Voltage apresentou o primeiro vestido impresso flexível. A peça, concebida em colaboração com MIT Media Lab, contou com o desenvolvimento de uma textura diferenciada, que incorporou um material duro e outro macio concedendo maior maciez e elasticidade (Figura 31).



FIGURA 31: Voltage Dress

Fonte: Iris Van Herpen (2019).

Para além da inovação estética, a impressão 3D também tem sido utilizada em estudos com o propósito de criar as chamadas peças inteligentes, que podem, por exemplo, responder às mudanças no ambiente ou no próprio corpo que a utiliza, como a desenvolvida pela designer Anouk Wipprecht, onde um sistema mecatrônico impresso em 3D possui sensores que respondem à presença e aos movimentos ao redor de quem as veste. A peça denominada Spider Dress 2.0 (Figura 32), é inspirada nos instintos de uma aranha encontrada na Floresta Amazônica (WIPPRECHT, 2019).



FIGURA 32: Spider Dress 2.0

Fonte: Wipprecht (2019).

As primeiras propostas para moda que fazem uso da impressão 3D, como as dos exemplos aqui citados, ainda se mostram como criações para passarela e projetos experimentais. No entanto, por mais que ela ainda pareça uma ferramenta distante da realidade produtiva das confecções, o emprego desta tecnologia na moda tem tido um crescimento rápido e significativo, de forma que com frequência se tem notícia de novos projetos que criam roupas inovadoras com resultados estéticos diferenciados.

A tecnologia também ganha destaque quando importantes marcas de moda empregam as técnicas em suas peças mesmo que experimentalmente, como por exemplo, a famosa grife Chanel que apresentou em 2015 uma versão do seu clássico *tailleur* construído com auxílio de uma impressora 3D, e as marcas Versace e Ohne Tite que já mesclaram em suas criações a impressão 3D com processos tradicionais de costura e bordado.

Há ainda outros profissionais desenvolvendo experimentações como a designer inglesa Catherine de Gales que expôs a coleção intitulada “Projeto DNA”, resultado de seu mestrado em Moda Digital, onde a impressão 3D formatou a base de produção para explorar a criação de acessórios inspirados na estrutura visual de cromossomos humanos. Diariamente novos projetos são elaborados sejam por estudantes ou profissionais interessados em incorporar a tecnologia em suas criações atualizando o olhar sobre estes processos e materiais.

Baseado no trabalho de Grain (2019) foi elaborada uma linha do tempo com as principais criações de superfícies para o vestuário desde 2000, quando a primeira peça vestível impressa tridimensionalmente foi criada. A linha do tempo traz os principais nomes da impressão 3D relacionada ao vestuário, o enfoque foi sobre o trabalho pioneiro de cada designer. Além da imagem e o ano de criação, são apresentados os nomes dos criadores, um resumo da forma de construção, o material utilizado e o processo de impressão que gerou a superfície.

A linha do tempo (Figura 33) não tem a pretensão de listar todos os projetos já produzidos no mundo com o emprego das técnicas de manufatura aditiva, o objetivo é levantar os principais nomes da impressão 3D na moda e os trabalhos mais significativos e representativos ao longo dos anos. De forma a traçar uma linha onde se possa analisar a evolução das superfícies, os principais criadores, processo e materiais empregados.

2000



Black Drap Dress

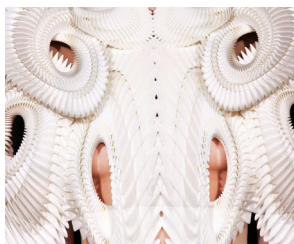
**JANNE KYTTANEN
E JIRI EVENHUIS**

Estrutura tradicional
de cota de malha

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2010



Cristalization

IRIS VAN HERPEN

Estrutura inspirada na formação de
conchas por depósito de calcário

Poliamida

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2012



Hybrid holism

**JULIA KOERNER e IRIS
VAN HERPEN**

Estruturas geométricas complexas
geradas parametricamente

Polímero

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2012



N12 Bikini

CONTINUUM

Malha circular algorítmica

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2013



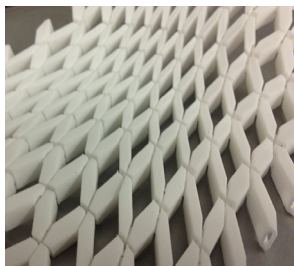
Voltage

**NERI OXMAN E IRIS
VAN HERPEN**

Estrutura combinando materiais
duros e macios para obter textura

Tecnologia de impressão 3D
multi-material da Stratasys

2013



Dita Von Teese Dress

**FRANCIS BITONTI
E MICHAEL SCHMIDT**

Módulos articulados

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2013



Cosyflex pants

TAMICARE

Superfície lisa e flexível

Spray de fibras

2013



Victoria Secret Lingerie

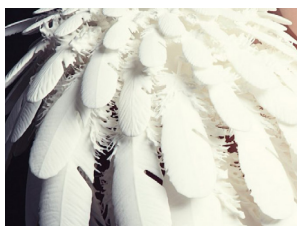
**BRADLEY ROTHENBERG/
VICTORIA SECRET**

Estrutura inspirada em fractais de neve

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2013



Project DNA

CATHERINE WALES

Estrutura inspirada em penas

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2013



Spider Dress

ANOUEK WIPPRECHT

Esqueleto rígido

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2014



Hard Copy

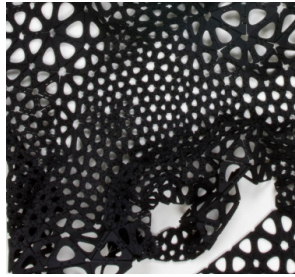
NOA RAVIV

Silhuetas inspiradas em estátuas

Náilon

Objet Connex 500
Multi-material

2014



Kinematics

NERVOUS SYSTEM

Módulos unidos por dobradiças

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2014



3D Printed Fabrics

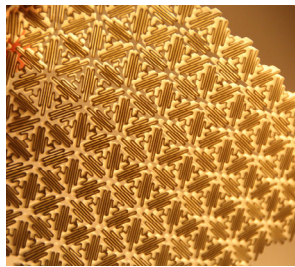
RICHARD BECKETT

Combinação de tecido malha com impressão 3D

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2014



Mesostructure

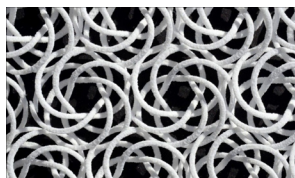
ANDREAS BASTIAN

-

TPU

Deposição de Material
Fundido (FDM)

2014



Flexible Textile Structure

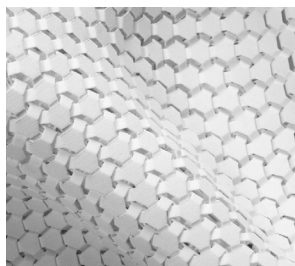
NEGAR KALANTA

Estruturas flexíveis

Náilon

Power Bed Fusion

2014



Cellular tank-top

**BRADLEY ROTHENBERG E
KATIE GALLAGHER**

Módulos interligados

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2015



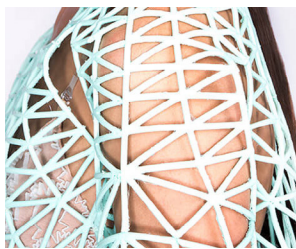
DELFT UNIVERSITY

Estrutura inspirada em
padronagem grega

PLA

Deposição de Material
Fundido (FDM)

2015



Liberty leading the people

DANIT PELEG

Estruturas flexíveis

FilaFlex

Deposição de Material
Fundido (FDM)

2015



Flexible Nylon SLS "Fabrics"

D2W

Cota de malha alternativa

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2015



Tailleur Chanel

CHANEL

Tela flexível

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2016



LOUGHBOROUGH

Malhas geométricas

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2016



Ohne Titel dress

CHESTER DOLS

Estrutura entrelaçada

Plástico fosco

Multi-jet modeling

2016



MER KA BA

**BRADLEY ROTHENBERG /
THREEASFOUR**

Estruturas paramétricas

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2016



Pangolin Dress

**TRAVIS FITCH
& THREEASFOUR**

Painéis flexíveis entrelaçados

Material multicolor

-

2016



Spire Dress

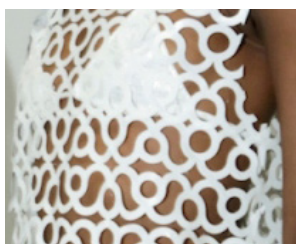
**ALEXIS WALSH &
ROSS LEONARDY**

Segmentos triangulares

Náilon

Sinterização Seletiva
a Laser (SLS)

2017



GLÁUCIA FRÓES

Grafismo

TPU

Deposição de
Material Fundido (FDM)

FIGURA 33: linha do tempo de superfícies para moda impressas em 3D

Elaborado pela autora

Analisando as superfícies da linha do tempo é possível observar as diferentes soluções criadas. A Sinterização Seletiva a Laser (SLS) têm sido a técnica mais empregada pelos designers para a produção das superfícies enquanto o náilon é a principal matéria-prima utilizada. Usado também para a fabricação dos tecidos, o náilon para a impressão 3D se apresenta em outro formato físico, mas também se mostra uma opção viável.

As criações de tais designers e seus experimentos efetivam produtos que colocam em foco a relevância de uma nova perspectiva do emprego da produção digital na moda e suas implicações. Tais construções provocam a reflexão acerca das vantagens no processo de protótipos e até de produtos finais prontos para o uso.

O uso da manufatura aditiva para roupa traz grandes expectativas e promessas. Produtos personalizados de acordo com as preferências do consumidor e construídos sob medida aos corpos dos usuários se contrapõem a cultura do consumo em massa e do fast fashion, o que pode ser uma revolução na maneira como se produz e consome moda.

Ao se tratar de joias e acessórios, a transição do modo de produção para a fabricação digital ocorre de forma mais fácil, uma vez que estas se relacionam de modo diferente com o corpo e na maioria dos casos com uma área menor dele. A ideia de conforto e caimento é mais bem resolvida e constata-se que impressão 3D já possui uma grande aplicação na área, seja para a produção de moldes seja para obtenção do produto final.

No uso da tecnologia de impressão tridimensional para a fabricação do vestuário tem-se a substituição do material têxtil, ou ainda, uma nova forma de concebê-lo diferente da tradicional e mais utilizada, que se dá pelo entrelaçamento dos fios da trama e do urdume. Nos projetos de vestuário que empregam a fabricação digital, a relação do material com o corpo precisa ser repensada, se constituindo uma das barreiras e um grande desafio para o avanço e a popularização do uso da tecnologia na área.

Como ferramenta que propõe uma revolução nos modos de produção industrial, a impressão tridimensional também sugere o “faça você mesmo” que levanta questionamentos acerca dos direitos autorais e faz com que haja necessidade de que respostas e soluções sejam estudadas. Porém, enquanto a produção a partir de arquivos digitais não é popular o bastante para desencadear medidas de controle sobre os direitos autorais, estilistas e designers realizam ensaios e experimentações na área (YAP; YEONG, 2014).

Outro aspecto tratado pela impressão 3D é a criação em meio digital. Com esta forma de criação é possível perceber o projeto quase que instantaneamente enquanto ele é criado, por meio de softwares, o que acelera o processo de desenvolvimento e permite que o designer visualize virtualmente, em tempo real, o objeto criado, permitindo testes, experimentações e alteração nas formas. Assim, uma nova maneira de criar moda também se configura a partir da tecnologia.

Esta forma de produção permite ao designer liberdade de criação, onde é possível que novos formatos, espessuras e texturas de materiais sejam experimentados. Estes projetos já possuem valor agregado por se tratar de concepções inovadoras e exclusivas.

O emprego da impressão 3D também garante independência ao designer na produção de seu projeto uma vez que não há necessidade de uma cadeia produtiva até que se obtenha o produto final.

A configuração do material têxtil é outra questão relevante neste tipo de construção. Nos exemplos citados neste capítulo e no estudo de caso do Capítulo 5, observa-se que as estruturas têxteis empregadas atualmente para a fabricação do vestuário, estudadas no Capítulo 3 deste trabalho, não são utilizadas, criam-se novas estrutura com diferentes soluções, de forma que estas superfícies não são mais tecidas entrelaçando-se fios, por isso neste trabalho opta-se por chamá-las de **superfícies vestíveis**.

Para a fabricação de roupas a partir da impressão tridimensional, uma nova forma de pensar a superfície é necessária. Desde a pré-história, a humanidade produz tecidos por meio do entrelaçamento dos fios da trama e do urdume e, para que bons projetos do vestuário sejam elaborados a partir da impressão 3D, esta fórmula deve ser praticamente esquecida. No modo tradicional de produção de roupas uma superfície inicialmente plana se transforma por meio da modelagem e passa a vestir uma superfície tridimensional, o corpo. A fabricação digital permite que a concepção e a modelagem já sejam realizadas em ambiente virtual, de modo que haja uma revolução também no processo de criação.

As soluções encontradas atualmente pelos designers transformam e adaptam a estrutura do entrelaçamento dos fios do processo tradicional de fabricação do material têxtil. O uso de materiais elásticos e flexíveis e o movimento das estruturas impressas permitido neste tipo de construção traz o conforto físico e também o visual para a estrutura, adicionando características como balanço e caimento.

Mesmo com o avanço conquistado por esta tecnologia na fabricação de produtos, há alguns pontos que dificultam a produção e venda de peças comerciais, pois a fabricação ainda é um processo lento e o custo da matéria-prima é elevado, quando comparado com os métodos tradicionais de produção (HOPKINSON; HAGUE; DICKENS, 2006). Designers, cientistas e empresas desenvolvem projetos na área, criando soluções, produtos e, inclusive, pesquisando novas matérias-primas que possam ser empregados na impressão tridimensional.

Para que superfícies vestíveis sejam produzidas comercialmente a partir da impressão 3D, os materiais empregados necessitam de desenvolvimento com o objetivo de que se obtenha melhora no conforto e na flexibilidade destes a fim de que se produza roupas para o uso diário. Atualmente, os materiais de impressão 3D ainda são relativamente caros e limitados o que impede que muitos designers e estilistas façam uso da tecnologia. No entanto, o desenvolvimento de novas impressoras e tecnologias tem sido constante nos últimos anos, diferentes materiais estão sendo inseridos nas possibilidades de matéria-prima para produção. Polímeros líquidos como o látex, o silicone, o poliuretano e o Teflon, bem como fibras têxteis, como o algodão, a viscose e a poliamida estão sendo testados por empresas que se dedicam a pesquisa (YAP; YEONG, 2014).

A empresa TamiCare é uma das promessas nesta área. Conforme apresentada na linha do tempo da Figura 33, o seu produto Cosyflex™ é descrito como um processo inovador, possibilitando a criação instantânea de produtos acabados, sem corte e sem desperdício. Segundo a companhia, o processo de impressão 3D criado possui múltiplos estágios e muitas variáveis controláveis, permitindo variações ilimitadas de tecidos a partir de vários tipos de polímeros líquidos, como látex natural, silicone, poliuretano e teflon, além de diversas fibras têxteis, como o algodão, a viscose e a poliamida, permitindo tecidos sob medida.

O processo, que se encontra protegido por patente e ainda não disponível ao mercado, consiste em uma impressão 3D por jateamento de material líquido sobre um molde de metal que se solidifica logo após a deposição. A produção de uma peça é mostrada em vídeo pela empresa (https://www.youtube.com/watch?time_continue=3&v=Rs6xscd5NIA).

Outra relevante pesquisa que inova no uso dos materiais e na forma de produção foi apresentada em 2010, liderada pelo Dr. Manel Torres, no Imperial College of London. Buscando novas maneiras de acelerar o processo de construção de roupas para a indústria da moda, investigou-se a criação de uma material que se encaixasse ao corpo como uma segunda pele, mas que tivesse a aparência de roupas. As investigações resultaram no Frabican, um tecido que pode ser pulverizado a partir de uma lata de aerosol (TORRES, 2020).

A tecnologia do tecido spray (Figura 34) tem início em uma suspensão líquida que é pulverizada por uma pistola de pintura ou uma lata de aerossol. O tecido é formado pela reticulação das fibras que aderem umas às outras e à superfície pulverizada criando um não tecido¹ instantâneo. O material é composto por diferentes tipos de fibras, de naturais à sintéticas, incluindo fibras de queratina, como lã e mohair, algodão, nylon, celulose e nanofibras de carbono (TORRES; LUCKHAM, 2012).



FIGURA 34: Tecido Spray Fabrican

Fonte: Torres (2020).

Inicialmente pensada para produtos de moda, a tecnologia se mostrou versátil e desencadeou a demanda de uma grande variedade de setores industriais. Fruto de uma pesquisa interdisciplinar, vinculando assuntos de engenharia, ciência dos materiais e design, a tecnologia spray do Fabrican permite que os produtores variem prontamente as propriedades físicas dos produtos (forma, tamanho, textura, cor - até mesmo o cheiro) para se adequarem às especificações de cada cliente, sem a necessidade de refazer ferramentas ou estocar diferentes tipos de material (TORRES, 2020).

Outra característica importante do produto criado encontra-se em sua sustentabilidade. O produto trabalha com compostos orgânicos mais ecológicos e não voláteis, não utilizando substâncias que destroem a camada de ozônio. O Fabrican usa principalmente fibras recicladas e também pode utilizar fibras e aglomerantes biodegradáveis. Além disso, os tecidos pulverizados podem ser redissolvidos e pulverizados novamente.

¹ Não tecido é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ou ao acaso, consolidados por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) e combinações destes (ABINT, 2020).

Pesquisas de destaque na área da impressão 3D, principalmente no que diz respeito à inovação quanto ao emprego dos materiais, também foram desenvolvidas no MIT (Massachusetts Institute of Technology). Um dos resultados de destaque nas investigações é o sistema para imprimir objetos a partir de múltiplos materiais desenvolvido pelos pesquisadores do Laboratório de Ciência da Computação e Inteligência Artificial do MIT (WU, 2020). A interface criada pelos pesquisadores, chamada Foundry, foi concebida um ano após o anúncio da MultiFab, uma impressora 3D multi-material criada pelo mesmo Laboratório, capaz de lidar com até 10 materiais simultaneamente (STOTT, 2020). A nova interface foi concebida para ser acessível a não-programadores, com objetivo de tornar a impressão com vários materiais mais acessível.

Na área dos vestíveis, o MIT se destaca pelas criações da equipe liderada pela arquiteta e designer Neri Oxman, que é Professora Associada de Artes e Ciências de Mídia no MIT Media Lab, onde fundou e dirige o grupo de pesquisa Mediated Matter. O projeto Mushtari (Figura 35), apresentado em 2014, integrante da coleção Wanderers apresentada como parte da coleção Stratasys 'O Sexto Elemento: Explorando a Beleza Natural da Impressão 3D' exibido na EuroMold, inovou ao criar um dispositivo vestível impresso em 3D multimaterial projetado para cultivar comunidades microbianas.



FIGURA 35: Mushtari, dispositivo vestível impresso em 3D
Fonte: Oxman (2014).

Produzido em colaboração com a Stratasys Ltd. em uma impressora 3D Objet 500 Connex 3 Multimaterial, o Mushtari, é um dispositivo vestível impresso em 3D que compreende 58 metros de canais de fluido interno, aliando biologia sintética e impressão 3D. A peça vestível conceitual foi projetada para funcionar como uma “fábrica microbiana” que usa micróbios geneticamente modificados para produzir produtos úteis para o usuário (BADER et al., 2016). O vestível criado é o primeiro tipo de dispositivo fluido com canais tão finos quanto 1 mm de diâmetro. Foi fabricado digitalmente na escala do corpo e examina a ecologia do material em um vestível impresso em 3D que incorpora comunidades microbianas funcionais.

Embora varias criações e trabalhos para moda utilizando a impressão 3D tenham sido citados e estudados neste capítulo, há ainda trabalhos e pesquisadores que não foram alcançados pelas pesquisas, provando que, mesmo que ainda esteja longe de se popularizar, há um crescimento e um elevado número de pesquisas e trabalhos sendo desenvolvidos, o que garante a relevância de estudos voltados para a área.

Nota-se assim, que o emprego da manufatura aditiva para moda encontra-se em processo de desenvolvimento e expansão, muito já foi criado pelos designers dispostos a aliar moda e tecnologia, mas há ainda um grande espaço para desenvolvimento de técnicas e principalmente de materiais para o uso no vestuário.

O próximo item deste capítulo se dedica a estudar os processos de manufatura aditiva atualmente existentes e disponíveis no mercado, com o objetivo de entender melhor as técnicas já citadas neste trabalho, empregadas para o vestuário e para a impressão 3D de um modo geral. Também são investigados os materiais mais comuns que podem ser utilizados nestas técnicas e suas características.

4.2. PROCESSOS DE MANUFATURA ADITIVA

A fabricação digital pode ser definida como a produção de objetos e artefatos físicos a partir de modelos digitais ou moldes com auxílio de equipamentos de Controle Numérico Computadorizados (CNCs). As CNCs são máquinas automatizadas capazes de executar comandos pré-programados e podem utilizar dois tipos de interfaces: os softwares CAD (Computer-aided Design) e os softwares CAM (Computer-aided Manufacturing).

Dentro dos processos de fabricação digital, existem duas formas principais de se construir o objeto: subtraindo ou adicionando material. Quando se subtrai material, o processo é chamado de manufatura subtrativa, onde parte-se de um bloco de matéria prima e, parcialmente, remove-se material deste bloco. Como exemplo deste tipo de fabricação encontra-se o corte a laser, um processo já utilizado no Design de Moda, e que tem seu uso ampliado na busca de resultados inovadores.

Os processos que constroem a peça a partir da adição de material são chamados de manufatura aditiva, ou ainda fabricação aditiva segundo alguns autores. Popularmente conhecidos como impressão 3D, estes processos podem ser definidos como um grupo de tecnologias que utiliza uma abordagem camada por camada para criar objetos com forma livre, da base ao topo (ALBERTI; SILVA; D' OLIVEIRA, 2014). A principal característica das tecnologias aditivas está no modo de construção, por camadas sucessivas, onde cada camada se assemelha a uma seção bidimensional que é construída uma sobre a outra até se atingir a forma final pretendida (RELVAS, 2017).

O processo tem início com o modelo 3D da peça sendo “fatiado” eletronicamente, obtendo-se as “curvas de nível” 2D que definirão, em cada camada, onde será ou não adicionado material (VOLPATO, 2017). O Objeto físico é gerado por meio do empilhamento (e da adesão) sequencial das camadas, iniciando na base até atingir o seu topo. Volpato (2017) divide o processo em cinco etapas que compreendem:

1. a modelação tridimensional, gerando-se um modelo geométrico 3D da peça (por exemplo, em um sistema CAD);
2. a obtenção do modelo geométrico 3D num formato específico para Manufatura Aditiva, geralmente representado por uma malha geométrica de triângulos, em um padrão adequado;

3. o planejamento do processo para a fabricação por camada, que envolve o fatiamento e a definição de estruturas de suporte e estratégias de deposição de material;
4. a fabricação da peça no equipamento de manufatura aditiva, também conhecido como impressora 3D; e
5. o pós-processamento, que variará de acordo com a tecnologia utilizada podendo envolver limpeza ou ainda processos de acabamento ou usinagem.

Em virtude de seu princípio, a manufatura aditiva possui um enorme potencial para fabricar geometrias complexas, uma vez que transforma uma geometria 3D em uma sequência de geometrias 2D (camadas) mais simples.

Os processos de impressão 3D estão em constante desenvolvimento e têm sido diversificados à medida que novas impressoras são criadas e disponibilizadas pelos fabricantes, de forma a tornar um desafio retratar um cenário atualizado dessa área. Diferentes e mais refinadas possibilidades de impressão são apresentadas, além de uma maior variação e sofisticação de materiais se fazerem possíveis conforme novas descobertas são realizadas.

O entusiasmo em torno das tecnologias de manufatura aditiva aponta vantagens como a flexibilidade produtiva e a simplificação dos processos, gerando expectativas sobre o seu emprego no futuro e a possibilidade de mudar radicalmente a forma como os produtos são fabricados. Além das possibilidades de customização e produtos feitos sob medidas, outras características são apontadas como benefícios: o prazo e a velocidade de produção, a simplificação da cadeia de abastecimento e fornecimento de matérias primas e a redução de resíduos.

Sobre a redução de resíduos, em processos que utilizam pó como a Sinterização Seletiva a Laser, o excedente pode ser reutilizado para a próxima impressão de forma que menos material seja desperdiçado. Neste sentido, há ainda iniciativas e estudos que tratam da economia e reutilização de materiais para a impressão 3D, pode-se destacar a empresa Better Future Factory que propõe a reutilização do plástico de copos descartáveis para a impressão de objetos.

Outra vantagem considerável que auxilia na adesão à tecnologia consiste na possibilidade de construção de geometrias complexas e com alta precisão dimensional. É possível construir peças com partes encaixadas sem

necessidade de montagem posterior, com alto grau de acabamento. No caso de acessórios e vestuários os processos existentes ainda exigem o tratamento da superfície depois do produto impresso, mas já é possível encontrar desenvolvimentos e experimentos propondo o uso direto da impressora 3D.

Para o estudo das técnicas de manufatura aditiva são propostas algumas divisões, como por exemplo a de Relvas (2017) que as divide pela ordem cronológica da tecnologia, pelo estado inicial da matéria-prima, pela natureza do material, pela tecnologia utilizada para o processamento do material e pelo tipo de mercado. Neste trabalho optou-se por estudá-las a partir da classificação proposta por Volpato (2017) que tem como critérios os princípios da tecnologia utilizada.

4.2.1. FOTOPOLIMERIZAÇÃO EM CUBA

Os processos por fotopolimerização baseiam-se na construção de objetos, a partir de resinas poliméricas em estado líquido, solidificados por meio da irradiação de uma fonte de luz ultravioleta (UV) ou visível (VOLPATO,2017). A incidência da luz fornece a energia capaz de iniciar uma reação química, denominada reação de cura, na resina fotopolimérica líquida, o que permite sua solidificação em uma cuba ou reservatório.

Como vantagem, o processo permite a produção de peças com um alto nível de acabamento da superfície. A excelência no acabamento é possibilitada pelo fato do método ser capaz de utilizar espessuras de camadas micro-métricas por ocorrer em meio líquido.

A importância da tecnologia de fotopolimerização também está no fato desta ter sido a técnica pioneira nos processos de impressão 3D e a primeira a ser utilizada por um equipamento comercial de manufatura aditiva. Conforme citado no início deste capítulo, foi a descoberta de Charles Hull, a partir de seus experimentos que mostraram ser possível curar resinas sensíveis a irradiação UV a partir de sua exposição a luz emitida por uma fonte de raios laser de uma impressora comercial, o que possibilitou que o primeiro equipamento fosse por ele patenteado sob a designação de estereolitografia.

Os equipamentos que utilizam a tecnologia de fotopolimerização podem ser divididos em dois tipos principais: os baseados em escaneamento vetorial e os baseados em projeção de máscaras ou imagens.

Nos processos baseados no escaneamento vetorial a irradiação de energia é direcionada pontualmente para uma região da camada a ser curada e o escaneamento é realizado predominantemente por uma fonte de energia laser. Todos os processos baseados em escaneamento vetorial têm como base o processo de estereolitografia.

No processo de estereolitografia (SL), patenteado pela empresa 3D System, a resina fotocurável é inserida em uma cuba ou reservatório que contém uma plataforma mergulhada, que se desloca para baixo conforme as camadas são construídas. O feixe de laser é movimentado por meio de um conjunto óptico que reproduz a geometria 2D obtida no fatiamento da peça.

O sistema de varredura move o feixe de laser preenchendo a camada correspondente sobre a superfície da cuba com a resina fotocurável. Quando exposta ao feixe de laser, a resina polimeriza gerando uma camada. Em seguida a plataforma de construção desce um valor correspondente à próxima camada a ser constituída, recobrimo com nova resina a camada anteriormente solidificada. O processo é repetido sucessivamente até que a peça seja construída por completo. A Figura 36 apresenta um esquema do processo.

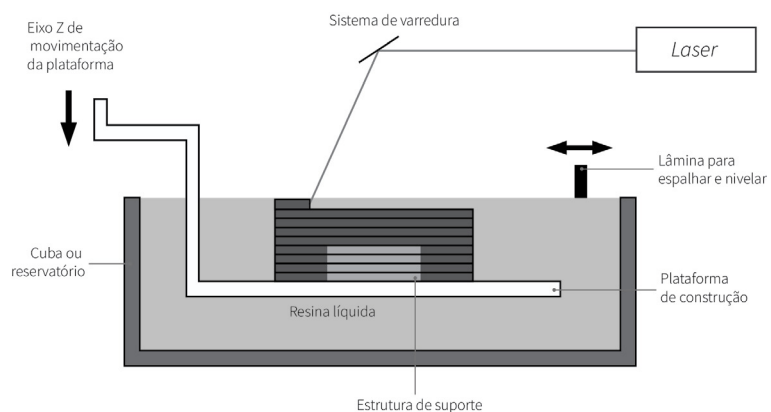


FIGURA 36: esquema do processo de Estereolitografia

Fonte: adaptado de Volpato (2017).

Diversas empresas comercializam equipamentos com princípio similar ao da estereolitografia. Basicamente, as diferenças entre os equipamentos estão na qualidade dos dispositivos ópticos e eletromecânicos, nas dimensões dos envelopes de construção e na resolução que o equipamento é capaz de garantir. O sentido da movimentação da plataforma de construção em relação ao eixo Z também pode variar, algumas empresas adotam o sentido de “baixo para cima”, de forma que as peças são construídas de cabeça para baixo.

Nos processos baseados em projeção de máscaras ou imagens, a energia é direcionada em toda a extensão de uma camada da peça a ser construída, ao invés de ser direcionada pontualmente, e possuem como vantagem a rapidez na fabricação da peça. Neste processo o modelo também é partido em camadas de modo que cada seção fatiada é armazenada na forma de bitmaps formando uma imagem ou máscara que serão alternadas dinamicamente por meio de um dispositivo de microespelho digital controlado por um processador de luz digital. A imagem de cada camada armazenada no visor é transferida para a superfície da resina líquida solidificando-a. Geralmente, nesses equipamentos a fonte de luz provém de lâmpadas UV embora existam alguns equipamentos que também utilizam laser.

Os materiais disponíveis atualmente para os diferentes equipamentos baseados no princípio de fotopolimerização são resinas a base de acrilatos (acrílica) e epóxi (VOLPATO, 2017). Nos equipamentos que se utilizam do princípio do escaneamento vetorial são mais utilizadas as resinas epoxídicas por apresentarem menor contração e melhores propriedades mecânicas e térmicas que as resinas acrílicas. Já nos equipamentos por projeção de máscara são empregadas predominantemente resinas acrílicas.

As resinas epoxídicas utilizadas possuem diferentes formulações capazes de imitar visualmente e pelo manuseio materiais como polipropileno (PP), acrilonitrila butadieno estireno (ABS), policarbonato (PC), polietileno (PE), além de materiais elastoméricos e ceras.

Apesar das vantagens atribuídas a esse processo de manufatura aditiva, como a precisão dimensional, a pouca diversificação de materiais, restringidos àqueles que sofrem ação à luz UV, tem sido apontada como uma importante desvantagem ou limitação da tecnologia. O processo também requer uma etapa posterior à fabricação para concluir o processo de cura em forno, que atribuirá as propriedades mecânicas finais das peças, o que é considerado desvantajoso em comparação com outras tecnologias.

4.2.2. EXTRUSÃO DE MATERIAL

Nos processos de manufatura aditiva por extrusão, ocorre a deposição de material na forma de um filamento de diâmetro reduzido, que é obtido pelo princípio da extrusão em um bico calibrado. Para se obter a geometria de cada camada o cabeçote extrusor é normalmente montado sobre um sistema com movimentos controlados no plano X-Y. Normalmente, esse sistema opera sobre uma plataforma constituída de um mecanismo elevador, que se desloca para baixo na direção do eixo Z ao término de cada camada, numa distância equivalente à espessura desta. O processo é repedido a cada camada de material depositado, até que a peça seja construída (VOLPATO, 2017).

As técnicas de extrusão de material geralmente variam em relação à forma de entrada do material de alimentação. A técnica mais comum de alimentar o cabeçote de extrusão é com o material na forma de um filamento contínuo de maior diâmetro que é tracionado por roletes e empurrado para o interior do cabeçote. A alimentação também pode ocorrer com o material em forma de varetas com perfil de cremalheira, com o material granulado, em pó ou pasta processados por um parafuso extrusor. O material ainda pode ser tracionado para o bico por meio de êmbolo ou ainda por pressão com uma agulha controladora de vazão.

A Modelação por Fusão e Deposição, do inglês Fusion Deposition Modeling (FDM), é o mais comum e acessível método de impressão por extrusão de material. Neste processo um filamento termo sensível é aquecido e extrudado sobre uma plataforma por meio de um bico extrusor (YAP; YEONG, 2014). A plataforma é mantida sob uma temperatura inferior à do material para que o filamento endureça rapidamente. A Figura 37 apresenta um esquema de uma impressora 3D FDM e seus principais componentes.

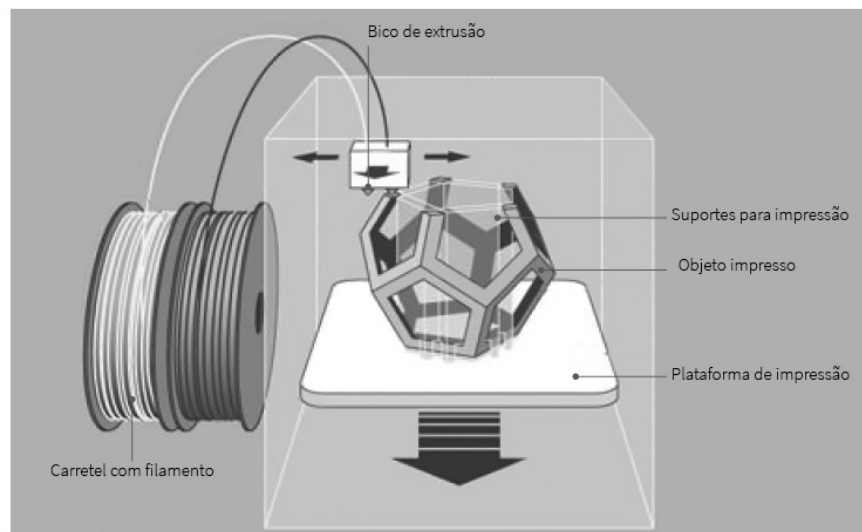


FIGURA 37: principais componentes de uma impressora FDM

Fonte: adaptado de Boa Impressão3D (2017).

A tecnologia FDM apresenta vantagens como: a simplicidade do princípio de deposição de material; não requer pós-cura dos materiais; permite a fabricação de peças com propriedade mecânicas que podem ser utilizados em testes funcionais ou em componentes de uso final; o tamanho das impressoras permite que elas sejam usadas em pequenos espaços e, dependendo do material, podem ser utilizadas em ambiente de escritório.

Apesar das vantagens, a tecnologia apresenta algumas limitações, como por exemplo a restrição em relação a precisão dimensional e a resolução dos detalhes uma vez que estes estão relacionadas ao diâmetro do bico de extrusão utilizado. Outra desvantagem é que o processo de impressão é relativamente lento em relação a outras técnicas de manufatura aditiva sendo limitado pela vazão do material no bico de extrusão.

Geralmente, é necessário imprimir junto com a peça estruturas de suporte em regiões suspensas ou com geometrias negativas, o que pode elevar os gastos com materiais. A impressão das estruturas de suporte faz com que as peças impressas necessitem de pós-processamento para a remoção destas estruturas.

Os processos de extrusão mais comuns exigem pouco pós-processamento, restringindo-se à retirada de material de suporte que pode ser manual ou por dissolução em solução aquosa detergente, dependendo do material

do suporte. A melhoria do acabamento das superfícies das peças pode ser conseguida com ataque químico ou por meio de lixamento ou recobrimento das superfícies (camada de primers, pintura ou metalização).

A qualidade das peças obtidas é determinada pela otimização das variáveis que afetam os processos de extrusão de material, que podem ser divididas em quatro categorias: parâmetros específicos da máquina, parâmetros específicos de operação, parâmetros específicos do material e parâmetros específicos da geometria. É a combinação entre esses indicadores que determinarão as características e propriedades da peça.

Nos últimos anos, a extrusão de materiais tem sido bastante utilizada em tecnologias de baixo custo, principalmente pelo tempo de vigência das primeiras patentes do processo ter expirado. Algumas dessas tecnologias surgiram como iniciativas de instituições de pesquisa que disponibilizaram seus projetos na forma de arquitetura aberta (open source). Um grande número de opções de equipamentos de custo acessível, na sua maioria baseados no princípio de extrusão por filamento (FDM), pode ser encontrado no mercado mundial e brasileiro (VOLPATO, 2017).

Os materiais mais comuns utilizados para impressão por extrusão são os termoplásticos como o PLA, o TPU e o ABS, porém é possível imprimir a partir de vários materiais como resinas, cerâmica, plásticos e até mesmo alimentos. A pesquisa de materiais que podem ser empregados no processo está em constante desenvolvimento, de forma que a lista se amplia conforme novos equipamentos são concebidos e estudos são realizados.

4.2.3. JATEAMENTO DE MATERIAL

As técnicas de Manufatura Aditiva por jateamento tiveram como base os métodos convencionais jato de tinta cujo desenvolvimento ocorreu durante os anos 1970 e 1980 para a impressão 2D, principalmente para papel. As duas principais linhas de uso dessas técnicas na impressão 3D foram: no jateamento direto do material da peça na forma líquida sobre uma plataforma que, por meio de algum processo geralmente químico se solidifica em camadas; e no jateamento de um fluido aglutinante sobre um leito de pó que se solidifica e forma as camadas.

O princípio de funcionamento na técnica conhecida como Jacto de Tinta (do inglês Inkjet Print, IJP) consiste na criação de camadas por deposição de gotas de material por meio de cabeçote jato de tinta. Imediatamente após a deposição, o material passa por processos de secagem com luz UV (YAP; YEONG, 2014).

Existem variações desta técnica de acordo com a empresa que constrói o equipamento. Esta tecnologia foi desenvolvida inicialmente pela empresa Sanders Prototyping (Solid Scape), em 1994. Contudo, a utilização de jato de tinta em equipamento de Manufatura Aditiva passou a ser mais expressiva somente a partir de 1999, quando foi patenteada a concepção empregada pela empresa israelense Objet Geometries (CUNICO, 2013).

No conceito inicial, apresentado pela Sanders Prototyping, é utilizado um cabeçote jato de tinta térmico a fim de depositar seletivamente gotas de materiais à base de cera para construção de secção transversal de objetos tridimensionais ao longo dos eixos x e y. Após a finalização de cada camada, a plataforma de construção desloca em z proporcionando a construção da próxima camada, sendo que este processo se repete até a peça estar concluída.

A empresa Objet também adota a técnica em sua linha PolyJet, porém com uma concepção um pouco diferente: é utilizado um cabeçote jacto de tinta piezoelétrico² para a deposição de gotas de material foto curável, no estado líquido, sobre a plataforma ou substrato ao longo dos eixos x-y. Simultaneamente, estas gotas são solidificadas por meio da exposição a uma fonte de luz UV extensa. Após a finalização de cada camada, a plataforma de construção se desloca em z proporcionando o início de uma nova camada (CUNICO, 2013). A Figura 38 apresenta uma representação da tecnologia com a utilização de materiais fotopolimerizáveis.

² A piezoelectricidade é interpretada como a produção de energia elétrica devido a compressão sobre determinados materiais

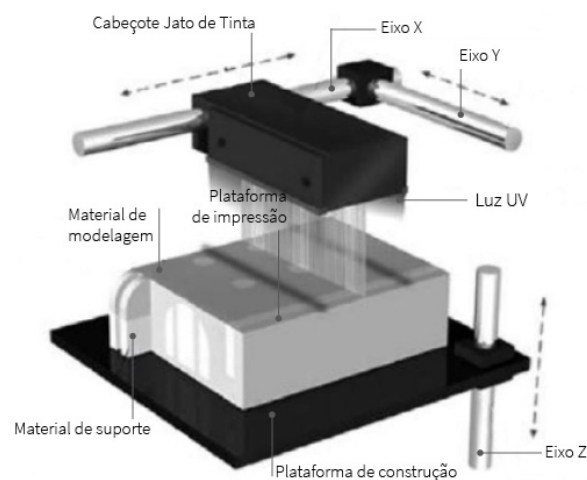


FIGURA 38: componentes da impressão 3D Jato de Tinta

Fonte: Gibson; Rosen; Stucker (2015).

A empresa 3D system também possui o sistema com a linha de impressoras Multi-jet com uma variação do sistema concebido pela Objet, ao invés das gotas de material serem solidificadas simultaneamente, elas são curadas parcialmente por meio de flashes de luz UV ao final de cada camada.

Os processos de jateamento de material trazem como principal vantagem a elevada precisão dimensional que pode ser obtida, uma vez que as cabeças de impressão são projetadas de maneira a liberar volumes muito pequenos de material, além da flexibilidade de se utilizar materiais com propriedades variadas, do rígido ao flexível, e também com distintas cores no mesmo processo de construção da peça (VOLPATO, 2017).

Os materiais mais comuns utilizados neste processo de impressão são baseados em acrilatos, epoxes, termoplásticos e cera, sendo que estes se diferenciam pelo processo de solidificação do material, de forma que se pode dividi-los em dois grupos: os fotopolimerizáveis e os termopolimerizáveis, que serão empregados conforme a tecnologia utilizada no equipamento de impressão.

4.2.4. JATEAMENTO AGLUTINANTE

O grupo de processos de manufatura aditiva por jateamento de aglutinante tem os mesmos princípios das técnicas baseadas na impressão jato de tinta. Possuem em comum o fato de realizar o jateamento de um fluido sobre um leito de material na forma de pó, que é distribuído sob uma plataforma.

Na tecnologia ColorJet Printing (CJP) da 3D Systems Inc., utiliza-se um reservatório para alimentação do pó e uma plataforma para a construção da peça, conforme ilustra a Figura 39.

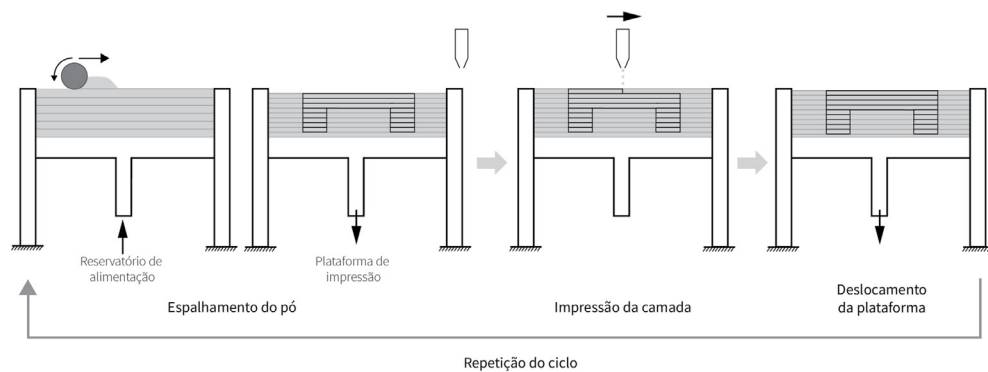


FIGURA 39: princípio de funcionamento da tecnologia CJP

Fonte: adaptado de Volpato (2017).

O processo de construção da peça tem início com o depósito de uma camada de pó por um rolo, responsável por espalhar e nivelar o material. Sobre essa camada um fluido aglutinante é aplicado por um cabeçote de impressão do tipo jato de tinta. A impressão da camada ocorre dentro da área delimitada pelos contornos bidimensionais (2D) do desenho de cada camada da peça. O fluido depositado reage com o pó, solidificando cada camada da peça. O material que não recebe o fluido serve para suporte da peça produzida. A plataforma que contém a camada de pó desce e uma nova camada de material é depositada. A nova camada é consolidada sobre a anterior por meio da difusão do fluido entre elas. Esse processo é repetido até que a peça seja impressa por completo. O pó envolto, que não recebe o fluido aglutinante é removido ao final do processo, podendo ser reutilizado (VOLPATO, 2017).

Após a impressão e depois de removida da plataforma, a peça deve ser limpa e, geralmente, receber infiltração de líquido polimérico ou verniz específico que se difunde da superfície externa para o interior da peça, formando uma estrutura mais resistente. A peça pode ainda receber algumas operações de acabamento como pintura, visando a melhora de sua aparência.

O material mais comum utilizado para esse processo é o gesso, que por ser uma matéria-prima de custo relativamente baixo, tem despertado muito interesse para aplicações em modelos conceituais. O que também ocorre em virtude da relativa baixa resistência do material e dos custos reduzidos de produção, de forma que as peças produzidas com essas tecnologias são usadas como modelos visuais táteis ou para réplica e moldes para serem preenchidos com cera, resina ou até mesmo metais não ferrosos fundidos.

Outras variações da técnica utilizando o princípio do jateamento de aglutinante foram desenvolvidas por empresas como a ExOne e a VoxelJet. As principais diferenças entre os equipamentos estão no sistema de deposição do material em pó e na forma de cura.

No equipamento disponibilizado pela ExOne é possível produzir peças a partir do aço, do aço inox, e de ligas de níquel-cromo, aço-cromo-alumínio, cromo-cobalto e tungstênio. Na impressora da VoxelJet é possível imprimir a partir de polímeros em pó.

Além dos processos já citados há outras técnicas baseadas no jateamento de fluido que combinam o jateamento com uma subsequente fusão por radiação infravermelha. Nestes processos o fluido jateado pode ter a função de auxiliar na fusão do pó ou, ao contrário, na inibição de sua fusão durante o processo.

4.2.5. FUSÃO DE LEITO EM PÓ

Os processos de Manufatura aditiva por fusão de leito em pó têm duas diferenciações principais: a fusão de pó metálico e a fusão de pó não metálico. A característica básica destes processos é a união de partículas de pó por efeito de uma fonte de calor. Frequentemente, a fonte de calor utilizada é um feixe de laser que executa uma varredura automática, controlada por um computador, na superfície do leito de pó, tendo como referência um modelo computacional 3D.

O mais importante sistema comercial que utiliza a fusão de leito em pó não metálico é a Sinterização Seletiva a Laser (do inglês *Selective Laser Sintering*, SLS). Nesta técnica, um feixe de laser de CO₂ guiado por um arquivo 3D CAD funde seletivamente uma fina camada de partículas de pó transformando o material em um objeto sólido, camada por camada (YAP; YEONG, 2014), o pó não derretido serve como estrutura de apoio para a peça que está sendo impressa.

As impressoras 3D SLS são equipadas com um braço interior de correr, feito de metal, que distribui o material em pó sobre uma plataforma. O arquivo 3D guia o laser sobre a substância em pó em pontos específicos, que aquece o material a temperaturas elevadas (um pouco abaixo do ponto de ebulição) e funde as partículas em pó, transformando o material em um objeto sólido (3DILLA, 2019).

O laser traça as camadas do objeto, e uma vez que o material tenha sido solidificado, a plataforma da impressão é rebaixada a uma distância que é igual à espessura de uma camada. O braço deslizante de metal distribui mais pó sobre a plataforma, que é, em seguida, aquecida pelo laser, e todo esse processo é repetido até que a última camada tenha sido concluída. A Figura 40 apresenta um esquema dos principais componentes deste tipo de impressão.

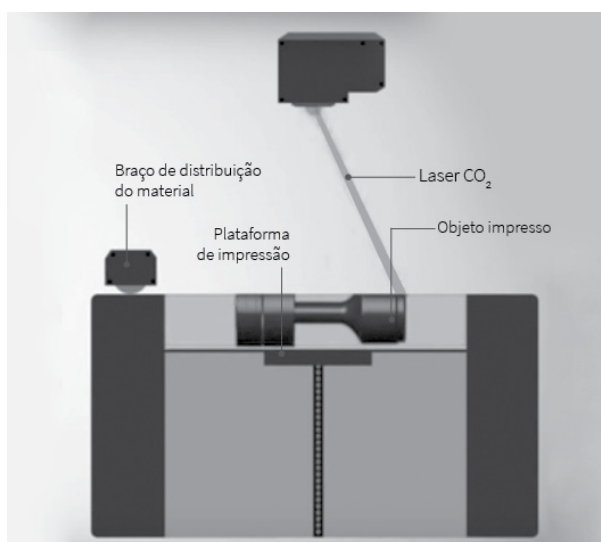


FIGURA 40: principais componentes na impressão SLS

Fonte: adaptado de 3D Systems (2019).

O processo utiliza materiais em pó, muitas vezes obtidos a partir de substâncias plásticas como o náilon, por exemplo, também podem ser utilizados poliamida, polietileno, polipropileno, ABS, Policarbonato, entre outros. Segundo Volpato (2017), os materiais mais utilizados atualmente provavelmente sejam a poliamida 12 e a poliamida 11. A poliamida 12 destaca-se por sua ampla janela de processamento, sua versatilidade para aplicações diversas e seu custo razoavelmente acessível, além da facilidade de pós-processamento, também aceita muito bem os tratamentos de superfície como pintura, deposição metálicas, entre outros.

Como principal vantagem do sistema de SLS podemos destacar a possibilidade de construção de peças complexas, a partir de materiais duráveis prontos para aplicação final e até mesmo com partes móveis numa mesma estrutura, pela não necessidade de remoção de suportes e pela facilidade na remoção do pó remanescente.

Como desvantagens apresenta-se o fato de o sistema possuir um alto custo de aquisição, operação e manutenção, o processo também pode ser demorado em função dos aquecimentos e resfriamentos necessários.

A Fusão Seletiva a Laser (SLM, Selective Laser Melting em inglês) é o mais conhecido sistema comercial que utiliza a fusão de leito de pó metálico. É uma técnica de impressão 3D projetada para usar um laser de alta densidade e potência para derreter e fundir pós metálicos. No processo, um feixe de laser é dirigido seletivamente, de acordo com o arquivo CAD 3D, para uma superfície fazendo com que partículas de pó sejam fundidas para formar metal sólido, camada por camada. A atmosfera no interior da câmara de impressão do equipamento é mantida com gás inerte para evitar a oxidação do material.

As peças obtidas por meio do processo podem apresentar propriedades finais para determinadas aplicações, no entanto, dependendo do caso podem ser necessários pós-processamentos, como tratamento térmico para alívio de tensões residuais ou tratamentos de superfície como jateamento e polimento.

Uma relevante diferença da técnica SLM para as técnicas de impressão por fusão de leito em pó de materiais não metálicos é a necessidade da construção de suportes em determinadas partes da peça a ser produzida. Essas estruturas desempenham várias funções durante o processamento. Inicialmente, servem para fixar a peça na plataforma de construção do equipamento, elas atuam também como dissipadoras de calor do material fundido, reduzindo os gradientes térmicos. Adicionalmente, são necessárias para evitar que geometrias com faces negativas e inclinação abaixo de um certo ângulo sejam comprometidas.

Os processos baseados no princípio de fusão de leito de pó metálico possuem uma ampla gama de materiais disponível. Além das ligas comerciais, há também ligas desenvolvidas por grupos de pesquisa ou até por empresas de acordo com suas necessidades. Desde que respeitadas as capacidades dos equipamentos, novas ligas podem ser desenvolvidas e estudadas

para diferentes aplicações (VOLPATO, 2017). Em resumo, podem ser usados como materiais para impressão aço inoxidável, liga à base de titânio, liga à base de níquel, alumínio e cobre.

4.2.6. ADIÇÃO DE LÂMINAS

O processo de Manufatura Aditiva por adição de lâminas se vale do corte de lâminas que, uma vez sobrepostas, permitem a fabricação da peça. Essa técnica se faz muito presente nas áreas de arte e de mobiliário (VOLPATO, 2017).

O processo de adição de lâminas com maior destaque é chamado de Manufatura Laminar de Objetos (LOM), concebido pela empresa Helisys Inc. A tecnologia LOM se baseia na deposição sucessiva de folhas de materiais contendo adesivo em um dos lados para construir a peça camada por camada. O material utilizado vem enrolado em uma bobina e após a deposição de uma folha, um rolo aquecido é passado sobre a sua superfície, ativando o adesivo da parte inferior da folha e unindo-a à anterior, a Figura 41 mostra um esquema de como acontece a impressão.

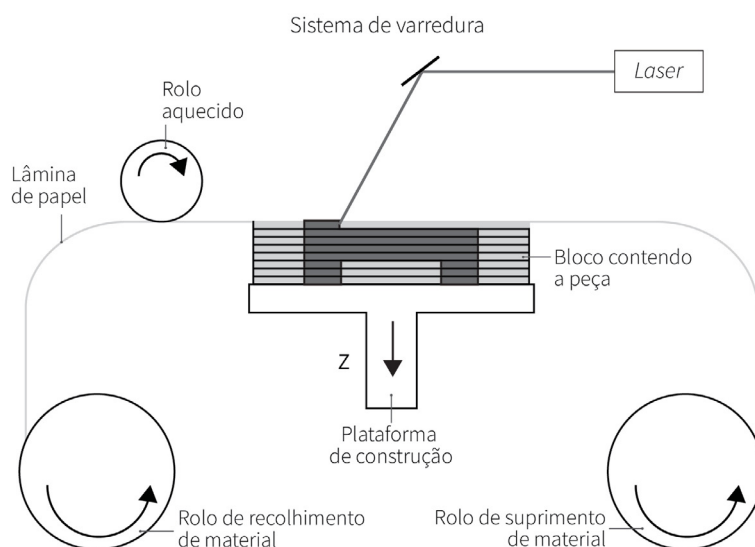


FIGURA 41: princípio do processo LOM

Fonte: adaptado de Volpato (2017).

Um feixe de laser CO₂ é utilizado para cortar o perfil da geometria da peça na camada em questão. Adicionalmente, o laser também picota em pequenos retângulos o material que não faz parte da peça, facilitando, assim, a sua posterior retirada. A plataforma de construção desce em Z e uma nova seção de material avança, o processo continua até que o objeto seja finalizado.

Como vantagem, a tecnologia não implica a necessidade de suporte para peça durante a impressão, uma vez que o material que não pertence ao produto, ou seja, o que fica ao seu redor, cumpre a função de suporte. Como desvantagem o uso de LOM em papel tem a necessidade de pós processamento manual, que gera custos e diminui a produtividade.

Existem variações do processo de LOM como, por exemplo, a proposta por Tang e Yen na qual o laminado dá lugar a uma pasta cerâmica. Além desta, outras propostas têm sido desenvolvidas e aprimoradas.

4.2.7. DEPOSIÇÃO DE ENERGIA DIRECIONADA

A deposição com energia direcionada (DED) é um processo de Manufatura Aditiva no qual o material é projetado sobre a peça ao mesmo tempo que o laser atinge tanto o substrato como o material de adição, promovendo fusão e consolidação (VOLPATO, 2017).

Uma máquina DED consiste em um cabeçote montado sobre um braço robótico multiaxial que deposita material fundido sobre uma superfície na qual a solidificação ocorre. O cabeçote de deposição pode mover-se em múltiplas direções, uma vez que não está fixado a um eixo específico, como nos processos convencionais de fundição. O material de adição, que pode ser depositado a partir de qualquer ângulo, é fundido com uso de um feixe de laser de alta intensidade, ou ainda com o uso de um feixe de elétrons ou de plasma. A Figura 42 mostra um esquema do processo de deposição de energia direcionada.

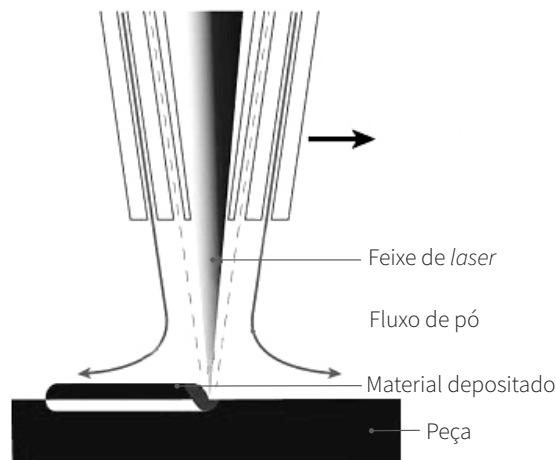


FIGURA 42: esquema do processo de DED

Fonte: adaptado de Roda (2018).

O princípio de DED cobre uma extensa variedade de tecnologias, como fabricação próxima à forma final obtida com laser (laser engineered net shaping – LENS), fabricação direta com luz (Directed Light Fabrication), deposição direta de metal (Direct Metal Deposition) e revestimento a laser tridimensional (3D laser cladding). O processo pode ser realizado com uso de polímeros ou cerâmicos, mas em sua grande parte é realizado com metais, sob a forma de pó ou de fio.

4.3. MATERIAIS

Conforme novas pesquisas são realizadas, novos insumos são disponibilizados pelas indústrias para a impressão 3D, de forma que a lista de materiais que podem ser utilizados pelas técnicas de manufatura aditiva encontra-se em constante processo de ampliação.

Os dois principais tipos de materiais utilizados para a impressão tridimensional, considerando os processos aditivos, são os polímeros e os metais. Porém existem outros, é possível imprimir em cerâmica, cera, areia, bem como em concreto, em processos já utilizados para impressão na arquitetura. Mais recentemente a madeira também surgiu como um dos materiais possíveis, por meio de filamentos produzidos a partir de uma combinação de partículas de polímeros e de madeira.

Na moda, os materiais plásticos são os mais aplicados para a produção de superfícies até então, como observa-se nos estudos dos capítulos a seguir e na linha do tempo da Figura 33. Estes materiais são também os mais acessíveis e disponíveis para impressão em laboratórios. A escolha do material depende do processo utilizado e do resultado pretendido.

Os polímeros possuem muitas formas diferentes e sua diversidade de propriedades fazem com que possuam uma ampla gama de aplicações. Podem ser encontrados desde adesivos a dispositivos biomédicos. Atualmente, a indústria de polímeros é maior do que as indústrias de aço, alumínio e cobre combinadas. Na impressão 3D, eles geralmente se apresentam em três formas diferentes: filamento, resina e pó. Também podem ser divididos em duas categorias: termoplásticos e termofixos, que se diferem principalmente em relação ao seu comportamento térmico (REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017).

Os termoplásticos podem ser derretidos e solidificados repetidamente mantendo suas propriedades. Tanto a moldagem por injeção tradicional quanto os processos de impressão FDM fazem uso de termoplástico aquecendo-o quando este está sólido e injetando-o ou extrudando-o em uma matriz ou em uma plataforma de construção onde se solidifica.

Já os termofixos, diferente dos termoplásticos, não derretem. Geralmente, começam como um fluido viscoso e são curados para se tornarem sólidos. A cura pode ocorrer por calor, exposição à luz ou por mistura com um catalisador. Uma vez sólidos, os termofixos não podem ser derretidos e, ao invés disso, perderão a integridade estrutural quando submetidos a altas temperaturas. Os processos SLA, DLP e jateamento de material, como relatado nos itens anteriores deste capítulo, utilizam termofixos fotopolimerizáveis, que endurecem quando expostos ao laser ou à luz UV.

Ao contrário dos polímeros, que são usados em uma variedade de formas (filamentos sólidos, pó, resinas), a impressão 3D em metal usa quase exclusivamente pós. A impressão em metal permite a produção de peças funcionais e de alta qualidade a partir de uma variedade de pós metálicos. A distribuição do tamanho das partículas, a forma e a fluidez são propriedades importantes que governam a adequação de um pó metálico para a impressão 3D.

Além dos polímeros e dos metais, algumas tecnologias de impressão 3D utilizam cerâmica (normalmente um polímero preenchido com pó de cerâmica) ou compósitos (filamentos preenchidos com carbono picado ou pó de metal-nylon). O pó cerâmico adicionado aos polímeros aumenta a resistência ao desgaste, tornando-os materiais ideais para aplicações em ferramentas.

A impressão SLA, por exemplo, oferece uma resina cheia de pó de cerâmica usada para a produção de moldes de injeção de alto detalhe. Carbono, alumínio, grafite e vidro podem ser adicionados ao pó no processo SLS, aumentando o desempenho na relação força-peso, a resistência ao desgaste e a resistência estática. A técnica FDM possui muitos filamentos exóticos disponíveis, como o PLA acrescido de madeira ou metal, resultando em uma aparência única da peça (REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017).

O estudo de caso realizado no Capítulo 5 e as experimentações relatadas no Capítulo 6 deste trabalho foram realizadas com polímeros, por isso, estuda-se nos tópicos a seguir as características dos principais materiais poliméricos disponíveis para as técnicas de impressão tridimensional.

4.2.1. ÁCIDO POLILÁTICO (PLA)

O PLA é um termoplástico biodegradável derivado de fontes renováveis como o amido de milho, raízes de mandioca e de cana (PORSANI; SILVA; HELLMEISTER, 2017), por isso consiste em uma opção considerada ecologicamente sustentável. Degrada-se em torno de 24 meses enterrado ou em 48 meses quando em água, o que é um tempo bem inferior quando comparado às centenas de anos dos outros plásticos.

Apresenta um aspecto brilhante e está disponível em diversas cores, opacas e translúcidas. Além do PLA, encontra-se no mercado, com características semelhantes, o PLA+ (Ácido Polilático Melhorado) que apresenta uma pequena melhora em relação a algumas características que são relevantes para o produto vestível: é levemente mais flexível, embora ainda mais rígido que outros materiais, e também possui maior tenacidade, característica que se reflete na aderência entre as camadas da peça.

Na prática, a maior flexibilidade e tenacidade conferida ao material o tornam mais forte, mais resistente a impactos e com maior resistência mecânica, se equiparando ao ABS. Apresenta também um acabamento mais liso e suave para as peças e garante alta precisão. A superfície obtida por meio

da impressão com PLA possui alta qualidade, que é garantida pelo ponto de fusão à baixa temperatura, que permite melhores detalhes das superfícies e características mais nítidas em comparação como outros materiais comumente usados (COELHO, 2015).

Sua alta fluidez de extrusão e baixa contração produz peças dimensionalmente precisas e com fidelidade aos detalhes, cantos mais acentuados e melhor acabamento de superfície do que os outros termoplásticos. O PLA+ ao contrário do PLA, é indicado para peças de esforço mecânico, porém sua resistência térmica ainda é baixa não sendo indicado para ambientes quentes ou contato com calor acima de 50 graus.

4.2.2. ACRILONITRILA BUTADIENO ESTIRENO (ABS)

O ABS é um termoplástico derivado do petróleo amplamente utilizado na indústria, um dos principais e mais antigos materiais utilizados na impressão 3D (ASSIS, 2016). Possui aspecto fosco e está disponível em diversas cores opacas. É um termoplástico rígido, com ótima resistência a impactos apresentando uma leve flexibilidade quando comparado ao PLA, permitindo uma pequena deformação ou flexão da peça dependendo da sua geometria, tornando-o indicado para peças que necessitem de encaixes em sua montagem. Além de muito resistente a impactos, o material também é resistente a temperaturas altas.

Os produtos fabricados em ABS possuem alta durabilidade e capacidade de suportar altas temperaturas (COELHO, 2015). O ABS produz peças fortes, mas não tão dimensionalmente precisas, não produz os cantos tão acentuados e nem oferece tantos detalhes quanto o PLA. É o material mais fácil de realizar pós processamento ou acabamento, uma vez que pode ser lixado e usinado com facilidade, além de ser solúvel em acetona, quando mergulhado rapidamente na solução pode ter a sua superfície alisada de forma bastante prática (ASSIS, 2016).

Indicado para protótipos funcionais, peças que necessitem ser mais resistentes, seja ao impacto ou à temperatura, peças que precisem de uma leve flexibilidade para encaixes ou que se pretenda ter o processo de pós-processamento/acabamento facilitado. As peças podem ser unidas com adesivos como o cianoacrilato e cola epóxi, bem como usar a acetona como solvente para soldá-las (ETECH, 2019).

O ABS possui alto tempo para degradação no meio ambiente por sua derivação de fonte não renovável, o petróleo. As impressões 3D podem ser recicladas, mas no processo muita energia se perde e se produz materiais residuais (COELHO, 2015). Além da questão ambiental, algumas desvantagens podem ser apontadas como a sensibilidade a exposição direta ao sol, que pode causar danos ao material, e a necessidade de um alto controle no gerenciamento de temperatura durante a impressão e no resfriamento da peça, no sentido de evitar rachaduras ou camadas divididas na impressão.

4.2.3. POLITEREFTALATO DE ETILENO GLICOL (PETG)

O PETG é um termoplástico derivado do petróleo, porém reciclável assim como o PET. Utilizado na indústria há vários anos para diversas finalidades, recentemente tem sido usado na impressão 3D (ETECH, 2019). É geralmente considerado um bom meio termo entre o ABS e o PLA, uma vez que é mais flexível e durável que o PLA e mais fácil de imprimir que o ABS (COELHO, 2015).

Apresenta um aspecto transparente e brilhoso, disponível em algumas cores translúcidas ou transparente. Produz peças tão resistentes a impactos quanto o ABS, mas com flexibilidade e resistência ligeiramente superior a este. Resiste às altas temperaturas, não tanto como o ABS, porém melhor que o PLA. O que o torna ideal para peças que precisem de transparência ou encaixes com maior flexibilidade, mantendo a alta resistência.

Também possui uma baixa contração, um pouco maior do que o PLA, todavia bem menor que o ABS, permitindo peças tão dimensionalmente precisas quanto o PLA. Com ótima aderência entre camadas, cantos acentuados, bem definidos, ótima reprodução de pequenos detalhes e ótimo acabamento de superfície (ETECH, 2019).

Quando comparado ao ABS, apresenta a mesma durabilidade e resistência. Em relação ao PLA, possui maior flexibilidade e resistência às altas temperaturas bem melhor. É um material indicado para peças funcionais e decorativas que precisem ser resistentes, principalmente àquelas que seriam beneficiadas pela sua maior flexibilidade e transparência.

Pode ser usinado e lixado assim como os outros polímeros, porém é mais difícil de lixar que o ABS, apresentando-se muito semelhante ao PLA nesse aspecto, uma vez que, exige um esforço um pouco maior com a lixa em virtude do baixo atrito oferecido (ETECH, 2019). As peças podem ser unidas também usando adesivos como o cianoacrilato e a cola epóxi.

Sua maior limitação de uso seria quanto ao preço, pois por ser um material com custo mais elevado e tempo de impressão maior, as peças produzidas em PETG tem um custo de cm³/grama/hora maior que os outros materiais.

4.2.4. POLIURETANO TERMOPLÁSTICO (TPU)

O TPU está na categoria dos filamentos flexíveis que também são chamados de TPE (elastômero termoplástico) ou FLEX. Existem diferentes tipos de TPE, sendo o poliuretano termoplástico (TPU) o mais usual entre os filamentos para impressora 3D (DDDROP, 2019). As características desse material o tornam não só apto a produzir excelentes protótipos, mas também peças de uso final.

De natureza elástica, o TPU pode ser facilmente esticado e dobrado, além de ser um material versátil. Dependendo das quantidades de suas substâncias básicas, pode assumir uma forma elastomérica macia e flexível como borracha. Assume a forma de um material macio, com alta flexibilidade e boa elasticidade, sendo a opção ideal para produção de peças onde estas características sejam desejadas.

Além de sua alta flexibilidade, elasticidade e maciez, o TPU possui alta resistência à flexão, típica dos materiais flexíveis, boa resistência ao desgaste e ao envelhecimento, característica típica do poliuretano, e também apresenta alta resistência química a diversos óleos, solventes e a água (ETECH, 2019). Sendo impermeável, ele também é resistente ao frio e aos raios ultravioletas.

4.2.5. POLIAMIDA (NÁILON)

O náilon, como citado no Capítulo 3, foi utilizado para constituir a primeira fibra têxtil sintética, desenvolvida e patenteada pela Dupont. Náilon, ou nylon em inglês, é um nome genérico para a famílias das poliamidas, sintetizada pelo químico Wallace Humme Carothers em 1935.

Além dos fios que formam os têxteis, a poliamida pode dar origem aos filamentos utilizados na impressão por meio do processo FDM, ou ainda ser utilizada em pó, no processo de sinterização à laser (SLS).

É um polímero leve e resistente. Na impressão 3D, ele apresentando vantagens como alta resistência química e alta durabilidade (SANTANA et al., 2018). O Nylon possui excelentes propriedades mecânicas e, em particular, a melhor resistência ao impacto para um filamento não flexível (REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017).

De forma que, se torna ideal para aplicação em projetos que necessitem de esforço físico, funcionalidade ou ainda que preveja encaixes. Com um acabamento levemente poroso, apresenta melhor resistência ao impacto quando comparado a outros filamentos não flexíveis.

Em comparação com a maioria dos polímeros, ele é considerado a melhor alternativa quanto considera-se o seguinte conjunto de características: resistência, flexibilidade e durabilidade (COELHO, 2015). Outra característica marcante do material, é que ele pode ser tingido antes ou depois do processo de impressão.

4.2.6. CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS MATERIAIS

Dos polímeros aqui estudados o PLA e o ABS seguidos pelo TPU são os mais acessíveis e disponíveis nos laboratórios e FabLabs para a impressão FDM, também são os que apresentam melhor preço e facilidade de compra. Os fabricantes de materiais e filamentos para as impressoras ainda podem apresentar combinações destes materiais e vendê-los com diferentes nomes.

Novas matérias primas são disponibilizadas à medida que seguem os estudos e criações para a área, de forma que listar todos os materiais passíveis de serem usados para a manufatura aditiva torna-se uma tarefa extensa. Com o ritmo acelerado de crescimento das tecnologias de manufatura aditiva, o desafio de retratar um cenário atualizado do emprego de materiais aumenta.

Além das diferentes características apresentadas pelos materiais, a maneira como a peça é produzida também interfere nas configurações da mesma. Variáveis dos processos de impressão tais como a temperatura de extrusão, a altura de camada, a espessura de perímetros, o percentual de preenchimento, o tipo de preenchimento, a orientação de impressão e a geometria da peça produzirão diferentes resultados quando combinados. Sendo o resultado da impressão um conjunto de fatores que influenciam na criação e fabricação de um produto impresso.

5. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são selecionadas e apresentadas criações de estilistas e designers que trabalham com a fabricação digital incorporando em seu trabalho tecnologias aditivas de impressão tridimensional. São projetos inovadores que ganham destaque pela forma de construção das superfícies.

O objetivo ao selecionar e revisar estes projetos é delimitar o cenário configurado atualmente na moda e no uso comercial da prototipagem rápida e da fabricação digital, estabelecendo o estado da arte na criação de superfícies e apontando caminhos e estratégias para o ensino e as formas de se trabalhar os vestíveis.

Os trabalhos são analisados de acordo com as informações dos designers criadores e das empresas fabricantes, são listados os materiais empregados, o método de produção e as características de construção da superfície que foram empregadas em tais produtos.

5.1. KINEMATICS DRESS

O Kinematics Dress (Figura 43) é um vestido impresso tridimensionalmente composto de milhares de módulos. A fabricação ocorre pelo processo de Sinterização Seletiva a Laser. O vestido é produzido como uma única peça e não requer montagem. Segundo a Nervous System, empresa fabricante, o Kinematics Dress representa uma nova abordagem sobre a fabricação, que integra Design, simulação e fabricação digital para criar complexos produtos customizados.



FIGURA 43: Kinematics Dress
Fonte: Nervous System (2019).

Ainda segundo a fabricante, ao contrário do processo tradicional, em que as roupas apesar de serem para corpos tridimensionais são feitas de material plano cortado e montado, as peças do Kinematics são criadas tridimensionalmente, em ambiente virtual, diretamente sobre digitalizações corporais e não exigem absolutamente nenhuma montagem. A construção emprega uma estratégia de dobragem (Figura 44) visando uma produção eficiente de forma que o vestido caiba na área de impressão da impressora 3D sem a necessidade de uma montagem posterior das peças. Dobrando o vestido antes de imprimi-lo é possível fazer estruturas complexas e maiores do que a área de impressão.

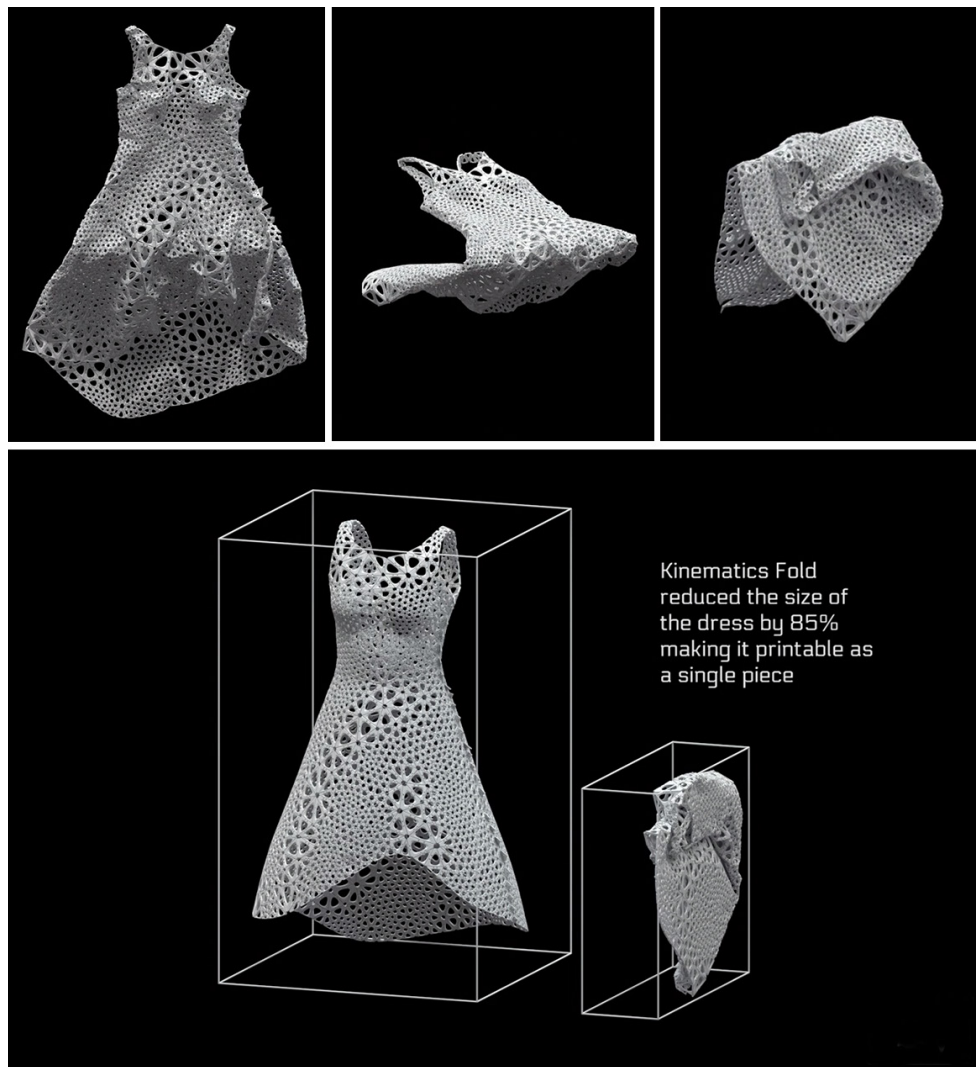


FIGURA 44: dobragem para impressão

Fonte: Nervous System (2019).

O vestido é uma estrutura padronizada de milhares de módulos triangulares interligados por dobradiças, todas impressas em 3D como uma peça única. A Figura 45 apresenta uma amostra das peças do Kinematics e os detalhes das dobradiças, enquanto a Figura 46 apresenta uma visão raio X das peças interligadas.



FIGURA 45: estrutura Kinematics com detalhes das dobradiças
Fonte: Nervous System (2019).

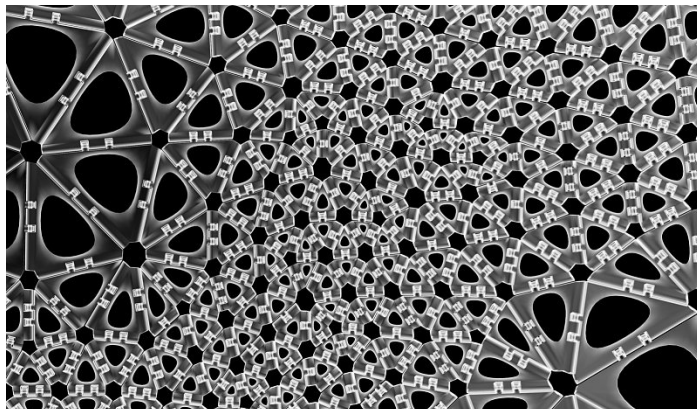


FIGURA 46: visão de raio X mostrando a estrutura da dobradiça
Fonte: Nervous System (2019).

A impressão 3D, por meio da técnica de Sinterização Seletiva a Laser (SLS), utiliza como matéria prima para a construção do vestido o náilon em pó. A empresa, Nervous System mostra o processo em seu site: <https://nervous-system.com/projects/albums/dress-fabrication/content/kinematics-dress-by-nervous-system-3d-printed-by-shapeways/>.

A primeira versão do vestido foi criada em 2013 e atualmente está incluída na coleção permanente do Museu de Arte Moderna de Nova York, no Cooper Hewitt Smithsonian Design Museum, também em Nova York, no Museu de Belas Artes de Boston e no Museu de Artes e Ciências Aplicadas de Sidney, na Austrália.

A Nervous System apresenta ao consumidor um aplicativo que permite a personalização online de sua peça. Por meio de um programa chamado Kinematics Cloths (Figura 47), o usuário pode projetar roupas 3D personalizadas ajustando e esculpindo em tempo real. Além do vestido, com a mesma estrutura, podem ser criadas saias e blusas. É possível esculpir a silhueta, personalizar a bainha e determinar o padrão a ser utilizado na vestimenta por meio da escolha entre os módulos disponíveis (Figura 48).

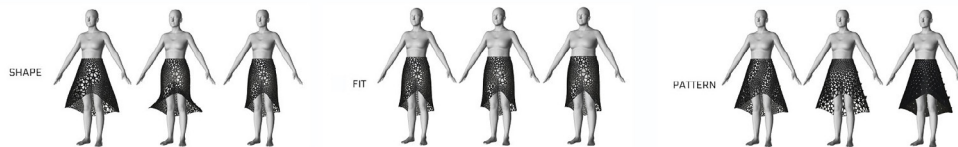


FIGURA 47: personalizações no aplicativo Kinematics Cloth

Fonte: Nervous System (2019).

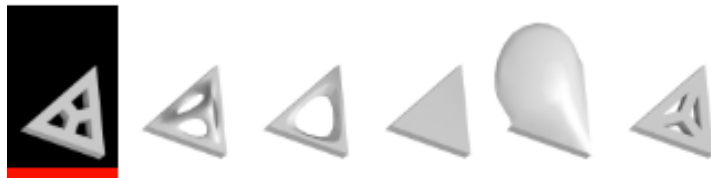


FIGURA 48: módulos disponíveis para escolha simplificados

Fonte: Nervous System (2019).

Atualmente estão disponíveis para escolha seis tipos de módulos, todos triangulares, com o sistema de dobradiças ligando um módulo ao outro. O sistema usa uma técnica de recuperação adaptativa para permitir que o usuário projete um padrão de módulos em tempo real com uma interface de pintura intuitiva. Embora essas estruturas complexas possam ser difíceis e por vezes mais demoradas de serem criadas na modelagem CAD tradicional, o aplicativo Kinematics objetiva torná-las acessíveis para qualquer pessoa.

O Kinematics Cloth constrói roupas sob medidas exatas. Usando uma tecnologia de modelação paramétrica, permite ao usuário importar as medidas do próprio corpo para o aplicativo, possibilitando que o modelo criado seja adaptado para qualquer formato do corpo (Figura 49).

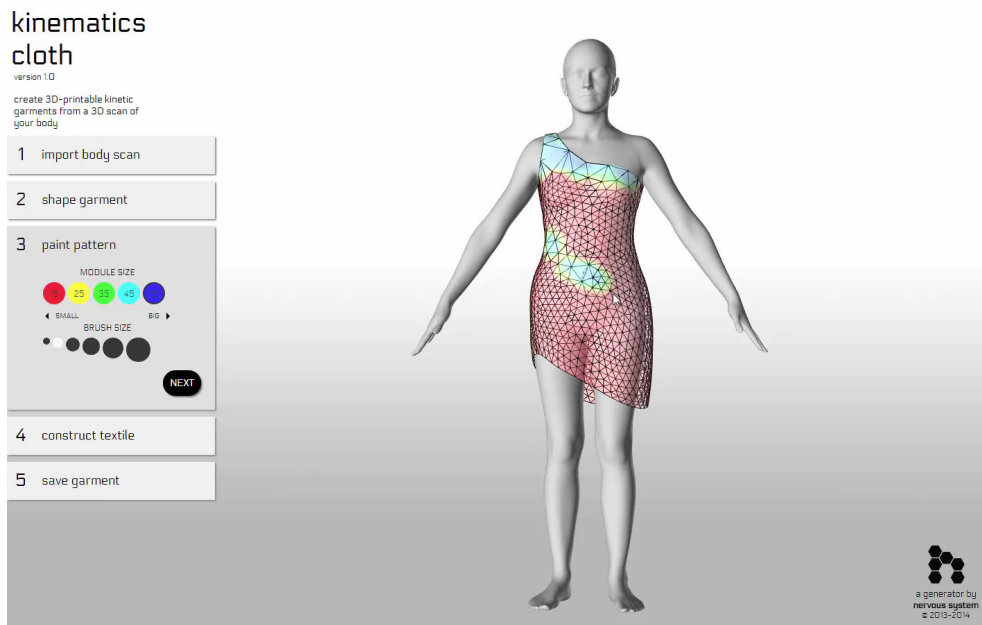


FIGURA 49: Print do aplicativo Kinematcs Cloth

Fonte: Nervous System (2019).

Além de permitir que o usuário utilize as próprias medidas, possibilitar a escolha entre as opções de módulo disponíveis e a silhueta da peça, também é possível determinar o tamanho dos módulos, definindo a densidade da malha geométrica que será construída. A combinação destes parâmetros selecionados permite que as superfícies que serão impressas variem em rigidez, caimento, flexibilidade, porosidade e padronagem.

Por meio do aplicativo, o usuário tem uma visualização em tempo real, conforme modifica as especificações, de como ficará o produto. O sistema faz uso da modelação paramétrica e altera a malha geométrica triangular no sentido de cobrir o corpo de acordo com as medidas e as preferências inseridas pelo usuário.

Os módulos, que embora com tamanhos diferentes, possuem todos o formato triangular, são repetidos por meio da rotação formando uma malha geométrica irregular (Figura 50) por meio do desenho paramétrico.

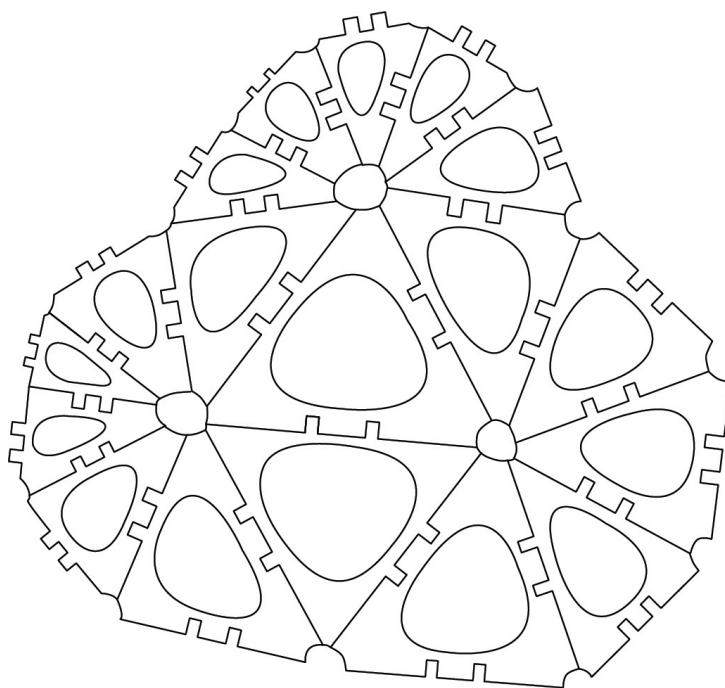


FIGURA 50: simplificação da malha formada pelos módulos

Elaborada pela autora.

No projeto Kinematics, além do diferencial da roupa e seu modo de fabricação, a empresa cria uma nova experiência ao consumidor permitindo que este participe do processo de criação, inserindo as próprias medidas, escolhendo características e personalizando o seu produto, configurando uma nova forma de produção, de venda e de relação com o usuário.

5.2. JAQUETA BOMBER POR DANIT PELEG

O trabalho da israelense Danit Peleg chamou atenção quando a designer apresentou em seu trabalho de conclusão de curso uma minicolecção de roupas que ao invés do processo tradicional de costura foi fabricada por meio da manufatura aditiva, em impressoras 3D caseiras. O material utilizado foi o Fila-Flex, um tipo de filamento mais maleável obtido a partir do poliuretano TPE, termoplástico a base de elastômero fabricado pela empresa espanhola Recreus, que, segundo a própria designer, permitiu a concepção de roupas mais usáveis. As cinco peças da sua primeira coleção são mostradas na Figura 51.



FIGURA 51: coleção Liberty Leading the People

Fonte: Peleg (2019).

Depois da primeira coleção, Danit Peleg continuou seu trabalho desenvolvendo novas peças e tentando aprimorá-las para o uso diário. Sua segunda coleção intitulada *The Birth of Venus* ganhou destaque quando uma de suas peças foi utilizada na cerimônia de abertura das paraolimpíadas no Rio de Janeiro em 2016 pela atleta de snowboard Amy Purdy, que dançou com um robô industrial usando o vestido impresso pela estilista (Figura 52). A coreografia da dança foi criada para explorar a relação entre humanos e tecnologia, fazendo uma relação com o vestido impresso em 3D.



FIGURA 52: vestido usado na abertura das paraolimpíadas, 2016

Fonte: Peleg (2019).

Apesar de várias peças de destaque, neste trabalho foi escolhida para estudo a superfície da Jaqueta Bomber, peça disponível para compra no site da designer (Figura 53). É possível personalizá-la escolhendo entre as opções de cores do filamento e do tecido utilizado no forro, além de uma palavra de até cinco letras para customizar as costas da jaqueta.



FIGURA 53: site de compra da Jaqueta impressa em 3D
Fonte: Peleg (2019).

A jaqueta demora mais de 100 horas para ser impressa e montada. A fabricação ocorre por meio do processo de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) no qual um filamento termoplástico é desenrolado de uma bobina e levado até um bico de extrusão. O processo de fabricação não gera nenhum desperdício, pois cada peça é única e feita sob medida

É importante observar que nesta superfície as estampas dão lugar a texturas e volumes proporcionados pela própria estrutura do produto, um dos principais fatores que caracteriza o Design de Superfícies tridimensionais para superfícies vestíveis (Figura 54).



FIGURA 54: detalhes da Jaqueta Bomber.

Fonte: Peleg (2019).

A superfície desta jaqueta é composta por uma geometria repetida modularmente ao longo da peça. A flexibilidade do material empregado para a construção em conjunto com a geometria, que apresenta um módulo que permite a distorção em dois sentidos, vertical e horizontal, garante maleabilidade, caimento e vestibilidade à peça. Porém, na versão comercial deste projeto ela ainda faz uso do tecido para estar em contato com a pele do usuário e garantir conforto.

O módulo que compõe a superfície é repetido por meio da reflexão em dois eixos, vertical e horizontal, formando o multimódulo que repetido forma a superfície da jaqueta (Figura 55).

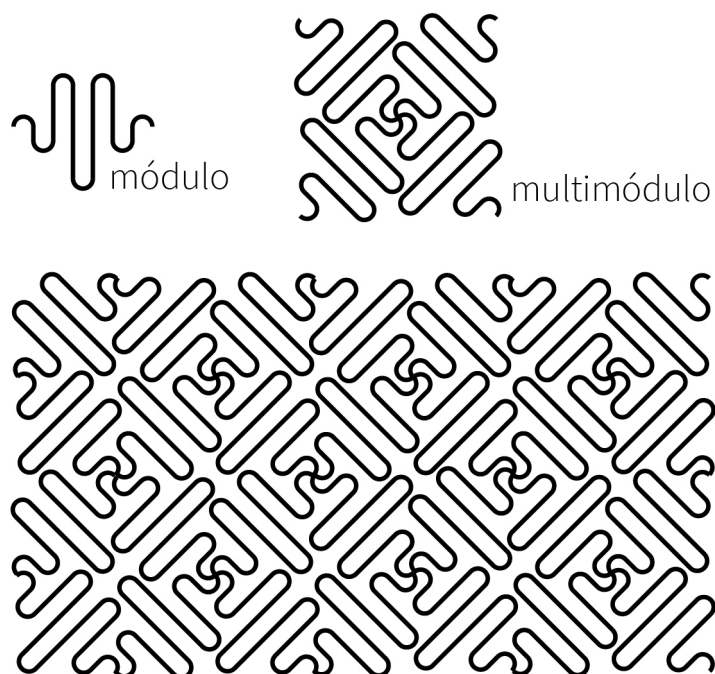


FIGURA 55: esquema de repetição do módulo da Jaqueta Bomber
Elaborada pela autora.

5.3. FOLIAGE DRES POR IRIS VAN HERPEN

A designer holandesa Iris Van Herpen é uma das pioneiras no uso da fabricação digital na moda sendo considerada uma das mais influentes designers no que diz respeito ao relacionamento entre moda e tecnologia na contemporaneidade, conforme citado no capítulo anterior. Seu trabalho apresenta uma reciprocidade entre o artesanato e inovação tecnológica em técnicas e materiais. Suas últimas coleções combinam técnicas de trabalhos manuais delicados com tecnologia digital, resultando em formas, estruturas e materiais de imperativa expressão, tornando suas criações objetos únicos para moda, com muitos de seus trabalhos expostos em museus.

As criações de Iris Van Herpen, segundo a própria designer, são fruto de pesquisas interdisciplinares e colaborações entre a designer e cientistas, fazendo uso de recursos tecnológicos como impressoras 3D, recortes a laser, malhas geométricas e superfícies construídas tridimensionalmente para compor suas coleções.

Assim como outros pioneiros na utilização da impressão 3D para moda, Iris Van Herpen tem se juntado a especialistas fora do campo na criação de uma arte vestível exclusiva que encontraria barreiras extremamente altas para uma equipe de moda tradicional. Esses colaboradores são frequentemente engenheiros experientes em material especializado e profissionais com experiência em CAD 3D (SUN; ZHAO, 2017).

Como citado anteriormente, várias peças criadas pela designer holandesa utilizam a tecnologia de impressão 3D. Para estudo neste trabalho foi eleita uma das peças da coleção Ludi Naturae, apresentada por Iris Van Herpen na coleção Primavera/Verão durante os desfiles de alta costura na Paris Fashion Week 2018, o vestido intitulado Foliage Dress (Figura 56).

A coleção encontrou inspiração a partir do levantamento das fotografias aéreas de Thierry Bornier e Andy Yeung, dentre outros.

“Eu dei um zoom para olhar a pele da terra, tentando encontrar as forças por trás dos formulários. Olhando dessa perspectiva, eu me senti inspirado pelos padrões de caos e ordem, natureza e civilização misturando-se em híbridos infinitos” (IRIS VAN HERPEN, 2019).

As criações da coleção também contaram com a colaboração do artista holandês Peter Gentenaar, conhecido por capturar a “memória orgânica” e o movimento em suas delicadas esculturas de celulose em larga escala. O resultado foi uma coleção vívida e otimista, pura e delicada, fundindo o artificial com o orgânico e combinando paleta de cores naturais de verdes turvos e desbotados, amarelos, azuis e roxos com cores de pele e pretos.



FIGURA 56: Foliage Dress por Iris Van Herpen

Fonte: Iris Van Herpen (2019).

As 21 silhuetas desfiladas na coleção exibiram técnicas construtivas e materiais inovadores como o ‘Foliage’, um processo iniciado com a Universidade de Tecnologia de Delft, no qual módulos em formato de folha foram impressos em 3D com espessura de 0,8 mm sobre tule (Figura 57). O tule consiste em um tecido leve e transparente, de fios de seda, nylon ou algodão, que formam uma rede de malhas geométricas redondas ou poligonais extensíveis. Os módulos foram colocados na impressora 3D para impressão diretamente no tecido o que, segundo a designer, criou uma suavidade excepcional.



FIGURA 57: detalhes dos módulos impressos sobre tule

Fonte: IRIS... (2018).

A peça levou 260 horas para ser impressa. Pesquisadores desenvolveram um modelo paramétrico para traduzir padrões 2D em dados 3D definindo as variações de cor e transparência. Para o processo de impressão, foi utilizada a técnica conhecida como PolyJet, onde uma fina camada de resina fotopolímero em estado líquido é depositada sobre a superfície e curada após exposição à luz ultravioleta, obtendo a forma final após o processamento, quando as tensões dentro do material se deformam.

Três variações do material foram realizadas com o objetivo de alcançar a cor e a transparência desejada (IRIS VAN HERPEN, 2019). Partes foram impressas separadamente e depois unidas na montagem do vestido (Figura 58). Detalhes do processo de criação pode ser observado no vídeo divulgado pela designer: <https://www.youtube.com/watch?v=5oenEXB5QGY>.



FIGURA 58: detalhes da montagem do vestido Foliage Dress
Fonte: IRIS... (2018).

A criação combina a modelação tridimensional controlada com precisão e a natureza analógica menos previsível da deformação (IRIS VAN HERPEN, 2019). O resultado é inovador do ponto de vista estético e produtivo, cria uma peça para passarela não usável para o dia a dia, mas aponta caminho para o uso da técnica na criação de relevos e texturas para o vestuário.

5.4. MODECLIX

Desenvolvido pela Universidade de Herfordshire, na Inglaterra, a superfície impressa em 3D chamada de Modeclix foi utilizada para a criação de uma coleção protótipo de vestidos inspirados na estrutura do tricô.

O projeto foi liderado pelo Dr. Shaun Borstrock na Digital Hack Lad da Universidade Hertfordshire em parceria com a especialista em Design 3D Mark Bloomfield da Electrobloom, empresa de joias de impressão 3D. O objetivo era criar roupas personalizáveis utilizando a tecnologia de impressão tridimensional simulando padrões de tricô e obtendo tecidos flexíveis e maleáveis.

A impressão do produto é realizada em pedaços, de modo a permitir que a roupa possa ser personalizada em qualquer formato e tamanho, durante as fases de concepção em 3D, ou mesmo após a impressão por meio da ligação dos pedaços impressos.

A impressão, por meio da manufatura aditiva, foi realizada pelo processo de Sinterização Seletiva à Laser utilizando poliamida PA12 em pó, que é o polímero termoplástico popularmente conhecido como náilon.

A superfície é formada por módulos (Figura 59 e Figura 60) repetidos pela simetria de translação que se conectam pelas alças. As alças são abertas no avesso do módulo para permitir que sejam desconectados e reconectados. Cada módulo mede $9,5 \times 9,5 \times 3,6$ mm e cada alça tem 1,4 mm de diâmetro e o tamanho total do módulo leva em conta a necessidade de um intervalo de 0,4 mm entre os módulos quando conectados no software CAD, o que permite que as partes que ligam as estruturas sejam fabricadas sem que os elos se fundam quando passam pelo processo de sinterização.



FIGURA 59: desenho do módulo da superfície Modeclix

Fonte: Bloomfield; Borstrock, (2018).

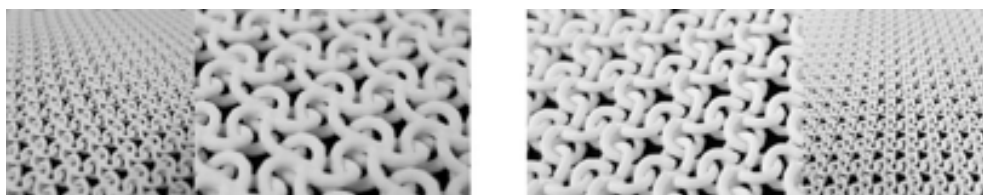


FIGURA 60: módulos impressos por SLS

Fonte: Bloomfield; Borstrock (2018).

As estruturas desenvolvidas foram criadas em um primeiro momento para obter roupas e acessórios de moda, demonstrando a versatilidade do sistema de ligação criado. Todas as peças do vestuário foram construídas a partir de pequenos painéis unidos de forma semelhante ao processo de montagem tradicional de fabricação do vestuário. A Figura 61 apresenta uma foto do detalhe dos módulos impressos.

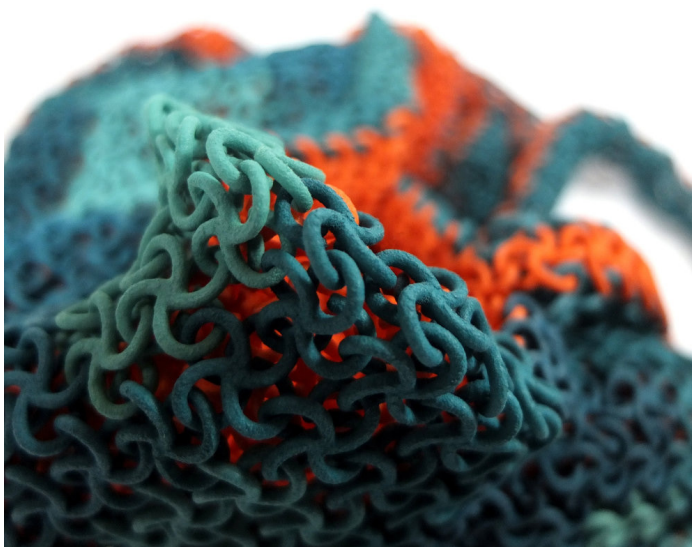


FIGURA 61: detalhe dos módulos Modeclix impressos

Fonte: Modeclix (2019).

Segundo os criadores, o material pode ser manipulado por qualquer pessoa ao se familiarizar com o processo de conectar os links dos módulos manualmente, além de poderem ser conectados em uma variedade de configurações diferentes, conforme os exemplos da Figura 62.



FIGURA 62: exemplos de ligações do módulo no vestuário

Fonte: Bloomfield; Borstrock (2018).

As superfícies criadas podem ser coloridas e tingidas com facilidade e ajustadas conforme a necessidade. Bloomfield, um dos criadores, acrescenta que “há um enorme potencial para desenvolver técnicas de construção complexas que desafiam o corte padrão tradicional e criam roupas multifuncionais, customizáveis e fáceis de usar” (STYLO URBANO, 2016).

A inovação do projeto está em sua capacidade de ser infinitamente desconstruída e depois reconstruída manualmente após a impressão. Isso permite que o Modeclix seja reconfigurado, redefinido, reparado e reciclado a qualquer momento. Isso estende o uso e o ciclo de vida dos produtos.

Os criadores do projeto ainda defendem que a experiência do cliente em poder personalizar o produto faz com que se sintam empoderados. O usuário pode devolver o item para que ele possa ser ajustado ou completamente reformado para refletir seus gostos, vontades e necessidades. A engenhosidade do Modeclix é que é possível transformar um vestido em bolsas, chapéus e acessórios e depois voltar a vestir-se novamente (MODECLIX, 2019).

A Figura 63 apresenta duas possibilidades do Modeclix, dois vestidos diferentes criados a partir do mesmo módulo e sistemas.



FIGURA 63: diferentes modelos de vestidos a partir do Modeclix

Fonte: Modeclix (2019).

O site do produto ainda reforça que o Modeclix é uma solução de Design modular que incentiva os clientes a incluírem-se numa comunidade preocupada com o impacto que seu comportamento está causando no planeta. O que os capacitam a fazerem parte de uma solução que aborda como o material e o serviço podem se tornar mais circulares.

Fatos como o aproveitamento do material em um processo onde praticamente não há desperdício de material, a possibilidade de transformação da peça, a fabricação sob demanda e a perspectiva de que seja fabricado por meio de uma rede local de escritórios de impressão 3D são fatores, que segundo os criadores, fornecem ao cliente os meios e as garantias de que suas escolhas estão contribuindo para mudanças positivas nos processos de fabricação do vestuário.

5.4. ESTRUTURAS ESTUDADAS

Segundo Grain (2019), o projeto da estrutura é a parte chave de qualquer têxtil, mesmo antes de qualquer acabamento, cor ou ornamento ser aplicado, a estrutura determina a sensação, o caimento e a aparência de todo o tecido. Conforme estudado no Capítulo 3 deste trabalho, existem duas estruturas principais nos têxteis tradicionais, o tecido plano e o tecido malha, e entre estes há muitas variações de cada tipo onde os princípios de entrelaçamento são mantidos, mas as maneiras como são tricotados ou tecidos são ligeiramente alteradas para variar a aparência e as propriedades finais do têxtil.

No uso da impressão 3D diferentes tipos de soluções estão sendo encontradas para criar as características importantes ao vestuário. Nos quatro projetos estudados, pode-se constatar que em três deles a superfície é trabalhada a partir da repetição de um módulo.

O Quadro 3, a seguir, apresenta um resumo das quatro criações estudadas e aponta o material utilizado o processo de fabricação e o modo de construção da superfície, com o objetivo de apresentar um panorama do que foi estudado.

QUADRO 3: resumo das superfícies estudadas

SUPERFÍCIE	GEOMETRIA	FABRICAÇÃO	MATERIAL
Kinematcs Dress	Módulos articulados Translação e rotação	SLS	Náilon
Jaqueta Bomber	Módulo deformável Reflexão	FDM	Fila Flex (Poliuretano TPU)
Foliage Dress	Módulos unidos por tule Desenho paramétrico	PoliJet	Resina
Modeclix	Módulos entrelaçados Translação	SLS	Náilon

Elaborado pela autora

Nas superfícies estudadas, diferentes sistemas de encaixe são construídos. No Kinematcs Dress o encaixe acontece por meio de dobradiças que interligam os módulos de diferentes tamanhos. Na Jaqueta Bomber os módulos são justapostos formando uma geometria por meio da simetria de rotação, a tridimensionalidade nesta superfície ocorre por meio da espessura, conferindo à geometria criada um valor de altura, além da largura e do comprimento.

Na superfície Modeclix os módulos são repetidos pela simetria de translação e entrelaçados em um sistema inspirado nas estruturas do tricô, com diferentes desenhos em cada face do plano. Este tipo de encaixe pode ser encontrado em outras estruturas criadas para a moda, como por exemplo no Black Drape Dress, criado pelo engenheiro Jiri Evenhuis, em colaboração com o designer Janne Kyttänen, citado no capítulo anterior.

Pode-se relacionar este tipo de construção às cotas de malha, bastante empregadas na Idade Média para roupas de proteção, sendo esta uma escolha evidente para materiais duros que não possuem flexibilidade (GRAIN, 2019), como nos casos do Modeclix e do Black Drape Dress.

Na superfície do vestido Foliage Dress, os módulos são impressos sobre o tule, que consiste na estrutura que os unem e os sustentam. A estrutura dos módulos são criadas a partir de um desenho paramétrico, assim como o Kinematics Dress que faz uso da modelagem paramétrica para contruir o vestido, e as possíveis personalizações feitas pelo usuário. Nestas duas criações a modelação paramétrica é utilizada para criar e principalmente para relacionar os módulos que compõe o produto.

O uso da modelação paramétrica, embora não previsto nas hipóteses desta tese e não fazendo parte da ótica pela qual este estudo se propõe a investigar a superfície impressa, é um recurso bastante utilizado e referenciado quando se trata da fabricação digital. A modelação paramétrica refere-se à relação entre todos os elementos de um projeto que permite coordenação e o gerenciamento de alterações, podem estas relações serem criadas tanto automaticamente pelo software quanto pelo designer (AUTODESK HELP, 2020).

Na modelação paramétrica as partes componetes de um projeto se relacionam e modificam mutuamente de maneira coordenada (WOODBURY, 2010). Em desenhos matemáticos assistidos por computador, os números ou características que definem os tipos de relações que devem ser estabelecidas são denominados parâmetros, portanto, a operação do software é paramétrica.

Novas ferramentas computacionais, em ambientes paramétricos, permitem programar as dependências entre componentes, por meio do uso de variáveis, chamadas de parâmetros, que permitem construir regras, traçar relações entre os pontos de uma curva, e definir o relacionamento e dependência entre eles (FLORIO, 2009).

Nas últimas duas décadas, as máquinas de controle numérico têm auxiliado a fabricação de formas orgânicas e incentivado a criatividade (FLORIO, 2009). A modelação paramétrica tem sido amplamente empregada e difundida na arquitetura, permitindo que arquitetos e engenheiros renovem o modo de construir. Na moda, os primeiros estudos começam a despontar no Brasil.

A modelação paramétrica torna-se uma ferramenta digital que permite explorar diferentes configurações geométricas. Os computadores e softwares possuem a capacidade de calcular rapidamente complexas fórmulas matemáticas, permitindo viabilizar geometrias complexas bem como criar e manipular novas famílias de formas e curvas.

Os designers foram educados para desenvolver projetos com geometria restrita para que as peças pudessem ser facilmente fabricadas (HAGUE, 2006). Estas mesmas restrições são impostas à criação de peças do vestuário, neste sentido o aspecto revolucionário da fabricação digital consiste no fato de que a geometria não é mais um fator limitante, o que garante ao Design de Moda a possibilidade de construção de superfícies com volumes e texturas que não eram possíveis até então.

As criações para o estudo de caso aqui proposto foram selecionadas de acordo com o caráter modular da construção da superfície, e estudadas principalmente do ponto de vista desta característica, a maneira que estes módulos se relacionam geometricamente para formar a superfície foram destacada no Quadro 3. Analisar a modelação paramétrica e como esta se relaciona com a fabricação digital das superfícies vestíveis na moda pode ser outro ponto de estudo que fogem do escopo deste trabalho e é indicada como questão para trabalhos futuros.

Assim como os conceitos do Design de Superfícies podem ser usados para estudar os projetos já criados, como as quatro peças e suas formas de construção estudadas aqui, eles podem ser ponto de partida para a criação de superfícies fabricadas pelos processos de impressão 3D, principalmente no que diz respeito a construção modular observada neste projetos. Tomando isto como base, o próximo capítulo desta tese realiza experimentações a partir do pensamento modular para a concepção de superfícies.

6. EXPERIMENTAÇÕES





As experimentações realizadas têm o objetivo de reproduzir e criar os tipos de superfícies estudadas nos capítulos anteriores em ambiente acadêmico utilizando materiais e equipamentos disponíveis nas Universidades nas quais esta pesquisa está inserida e na rede de Fab Labs, verificando as possibilidades de construção nestes ambientes.

Foram utilizados os materiais mais comuns à impressão 3D, o PLA e o TPU, sendo estes mais largamente documentados e amplamente distribuídos, com preços mais acessíveis. O PLA foi utilizado em virtude de sua disponibilidade em todos os laboratórios e das suas características biodegradáveis, conforme descrito no capítulo 4, enquanto o TPU foi utilizado por apresentar flexibilidade, característica desejável aos produtos vestíveis.

As primeiras experimentações foram feitas a partir de arquivos disponibilizados no site Thingiverse, uma plataforma criada pela empresa MakerBot com o objetivo de construir uma comunidade de Design para descobrir, criar e compartilhar itens imprimíveis em 3D (MAKERBOT, 2019). No site é possível compartilhar e fazer downloads de modelagens tridimensionais criadas pelos usuários. Segundo o site, com a intenção de manter uma plataforma aberta, todos os projetos são incentivados a serem licenciados sob uma licença Creative Commons.

Lançada em 2002 por uma organização sem fins lucrativos, uma licença Creative Commons é usada quando um autor quer dar às pessoas o direito de compartilhar, usar e construir sobre um trabalho que ele criou (CREATIVE COMMONS, 2019). Existem vários tipos de licenças Creative Commons, que se diferem por várias combinações que condicionam os termos de distribuição. O quadro a seguir mostra os tipos de licença que podem ser combinadas.

QUADRO 4: tipos de licença Crative Commons

	Atribuição (BY)	Permite ao licenciado copiar, distribuir, exibir, executar a obra e fazer trabalhos derivados dela, conquanto que deem créditos devidos ao autor, na maneira especificada por este.
	Compartilhar Igual (SA)	Permite aos licenciados que copiem, distribuam, exibam, executem e modifiquem seu trabalho, desde que distribuam o trabalho modificado nos mesmos termos.
	Não comercial (NC)	Permite que outras pessoas copiem, distribuam, exibam, executem, modifiquem e usem seu trabalho para qualquer outra finalidade que não seja comercial.
	Sem Derivações (ND)	Permite que outras pessoas copiem, distribuam, exibam e executem apenas cópias originais do seu trabalho.

Fonte: adaptado de Creative Commons (2019)

A licença proporciona uma flexibilidade autoral, o autor pode, por exemplo, optar por permitir apenas usos não comerciais de seu próprio trabalho. Por outro lado, a licença protege as pessoas que usam ou redistribuem o trabalho de um autor de preocupações de violação de direitos autorais, desde que respeitadas as condições especificadas na licença pelo qual o autor compartilha o trabalho.

Desta forma a impressão 3D, por meio de licenças Creative Commons, e da comunidade que se forma ao redor da tecnologia, tem ajudado a criar uma rede de compartilhamento e troca que permite a popularização das técnicas e o aprimoramento das criações.

EXPERIMENTAÇÃO 1 – MÓDULO QUADRADO

A primeira impressão realizada faz referência as construções por trama, produzindo módulos entrelaçados, a exemplo das malhas estudadas no capítulo 3 deste trabalho. Imprimiu-se uma estrutura tridimensional criada pelo designer Agustin Flowalistik e disponibilizada no site Thingiverse sob a Creative Commons License. A malha é baseada em módulos que se interligam. A Figura 64 mostra quatro vistas do modelo em ambiente virtual.

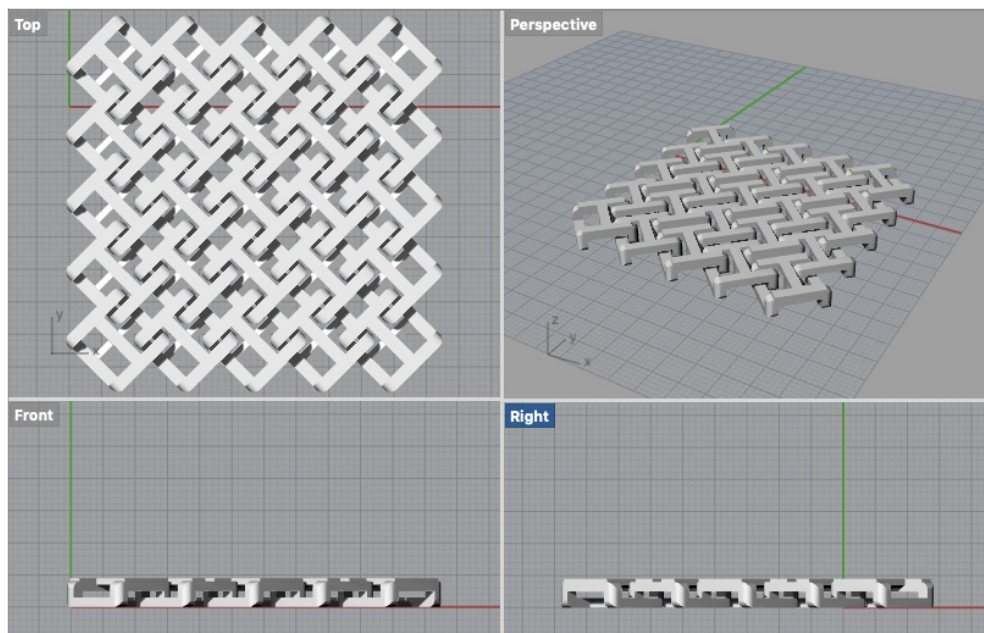


FIGURA 64: módulos quadrados em ambiente virtual

Fonte: print a partir do programa Rhinoceros.

O processo de produção empregado foi a fabricação aditiva pelo método de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM). A primeira amostra foi impressa no FabLab Lisboa, na impressora Ultimaker 3, utilizando como filamento o PLA, material disponível ao público para impressão gratuita.

Cada módulo que compõe a estrutura constitui-se em um quadrado de 12 mm com altura de 4 mm (Figura 65).

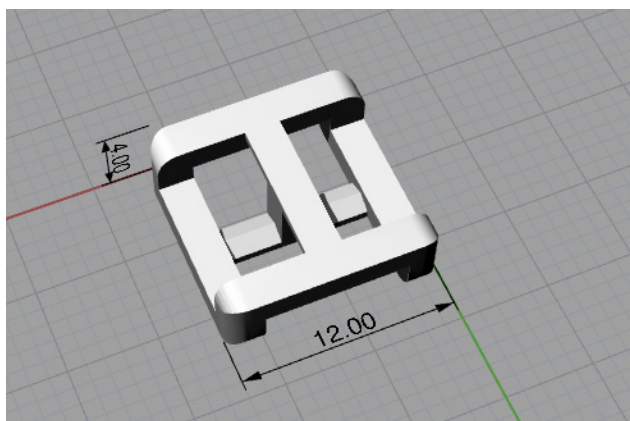


FIGURA 65: medidas do módulo quadrado

Fonte: print a partir do programa Rhinoceros.

A primeira impressão (Figura 66) levou cerca de três horas para ser realizada e resultou em uma pequena amostra que embora não possa ser empregada para analisar características como caimento e maleabilidade, serviu para conhecer as características de acabamento da peça e de toque do material empregado.

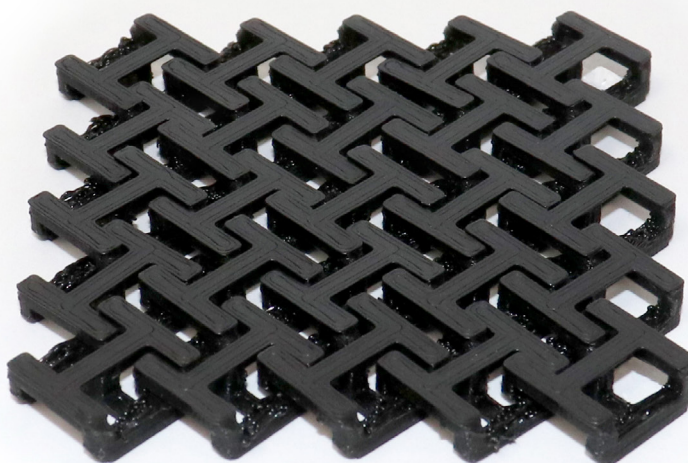


FIGURA 66: malha com módulos quadrados impressa

Elaborado pela autora.

A amostra final consistiu em um pequeno quadrado de 6 cm. A peça apresentou um bom nível de acabamento, com superfície lisa e com brilho no lado que ficou voltado para a bandeja durante o processo de impressão.

EXPERIMENTAÇÃO 2 – MÓDULOS TRIANGULARES

A segunda impressão também foi realizada no FabLab Lisboa, utilizando como material o polímero PLA por meio da técnica FDM, na impressora Ultimaker 3. A geometria utilizada para esta experimentação foi disponibilizada no site Thingiverse sob a Creative Commons License pelo designer Devin Montes. A superfície é criada a partir de dois modelos de módulos triangulares (Figura 67), que se unem formando a malha (Figura 68 e 69).

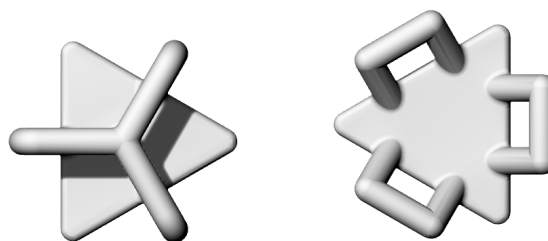


FIGURA 67: vista superior dos dois tipos de módulos

Fonte: print do software Rhinoceros.

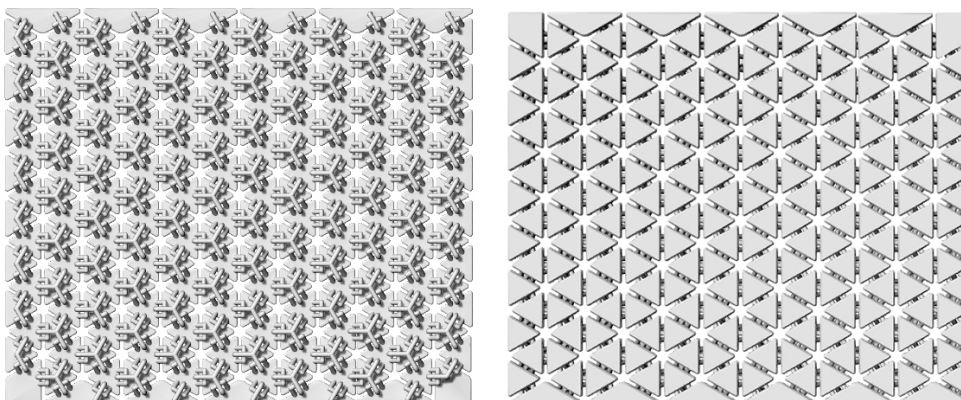


FIGURA 68: malha triangular criada por Devin Montes

Fonte: print do software Rhinoceros.

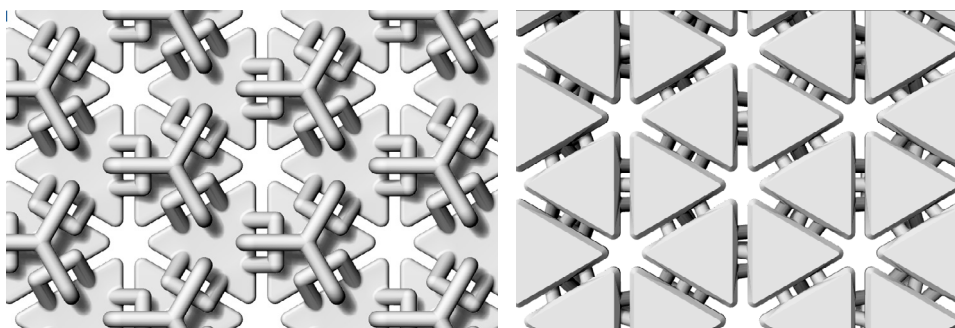


FIGURA 69: detalhe da união dos módulos

Fonte: print do software Rhinoceros.

Desta vez, a superfície foi impressa com uma quantidade maior de módulos. A impressão levou cerca de 13 horas para ser concluída. Com módulos de 9,8 mm de diâmetro e 5,75 mm de altura (Figura 70) compondo um quadrado de aproximadamente 16 cm.

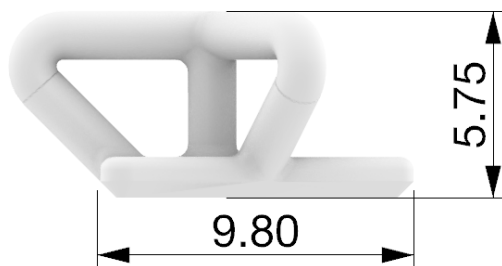


FIGURA 70: medidas do módulo triangular

Fonte: elaborado pela autora.

Nesta amostra foi possível analisar, além do toque e da textura, o caimento apresentado pela estrutura dos módulos (Figura 71).



FIGURA 71: observação do caimento da estrutura

Elaborada pela autora.

A impressão conferiu à modelação um bom nível de acabamento produzindo uma superfície lisa e com brilho no lado que ficou apoiado na bandeja durante a impressão. O tamanho dos módulos e a articulação entre eles, permitida pelo desenho do mesmo, conferiu a amostra caimento e maleabilidade mesmo tendo sido produzida a partir do PLA, material que não possui flexibilidade ou elasticidade.

EXPERIMENTAÇÃO 3 – MÓDULO LAÇADAS 4 ALÇAS

A terceira experimentação, modelada pela autora, usou a estrutura baseada nas laçadas da malha, com módulos entrelaçados repetidos em uma simetria de translação. Inspirada nas formas de processos manuais como o crochê e o tricô, utilizou alças que ligam um módulo ao outro (Figuras 72 e 73).

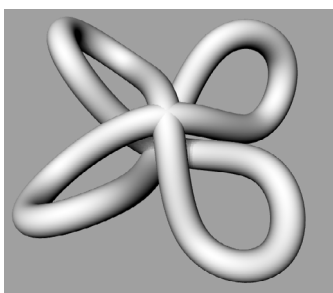


FIGURA 72: módulo inspirado nas laçadas da malha

Elaborado pela autora.

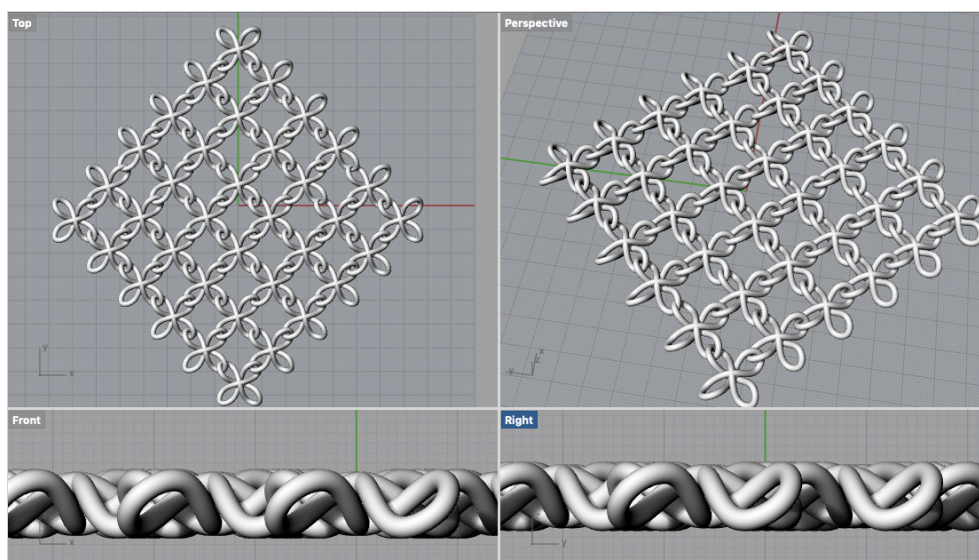


FIGURA 73: vistas do modelo.

Elaborado pela autora.

A primeira impressão desta modelação foi realizada na impressora Beethefirst, que utiliza a tecnologia FDM, no LPR (Laboratório de Prototipagem Rápida) da FAUL (Faculdade de Arquitectura da Universidade de Lisboa). Utilizando como material o TPU, a primeira experimentação resultou em um protótipo com baixo nível de acabamento e com problemas estruturais (Figura 74).



FIGURA 74: módulos impressos

Elaborado pela autora.

Uma nova impressão foi realizada, aumentando o tamanho do módulo e acrescentando suportes na impressão, o que melhorou a qualidade do módulo, mas ainda não atingiu um acabamento satisfatório. O último módulo impresso apresentou as seguintes medidas: 30 mm de altura e largura com 10,5 mm de altura, com alças com 2,5 mm de espessura (Figura 75 e 76).

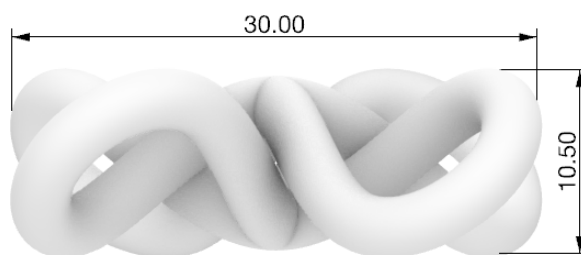


FIGURA 75: medidas do módulo com 4 alças

Elaborado pela autora



FIGURA 76: módulo impresso com tamanho ajustado

Elaborado pela autora.

Esta experimentação não apresentou uma boa qualidade de acabamento quando comparada as duas primeiras impressões. As características se deram em virtude do uso TPU e do desenho do módulo. Como o material apresenta flexibilidade torna-se mais difícil controlar a retração durante a impressão fazendo com que a superfície apresente pequenos fios soltos conhecidos como stringing.

Estes fios se formam pela deposição do material enquanto o bico se desloca para outra posição. Para controlar a formação destes fios é necessário que, seja habilitada a retração, que indicará á impressora que quando o bico estiver se movimentando para uma posição, sem que tenha que depositar o material, ele deverá retornar o material não deixando que ele seja depositado.

Além de habilitar a retração, outros fatores envolvidos na formação dos fios são a velocidade de deslocamento do bico de extrusão e a temperatura de extrusão. Se a velocidade de deslocamento entre dois pontos estiver muito lenta, o material descera e pode se depositar fora da peça, aumentando a velocidade diminui-se esse risco. A configuração da velocidade depende das possibilidades da impressora. A temperatura também desempenha um papel importante, com valores mais baixos há menos formação de linhas indesejadas.

Como o módulo desta experimentação apresenta alças com inclinação, foi necessário que fossem acrescentados suportes à peça. O uso de suporte na impressão 3D, pelo processo FDM é recomendado quando a peça apresenta ângulos de inclinação a partir de 45° com o plano da bandeja.

A impressão dos suportes e sua retida após a impressão, contribui para que a superfície impressa apresente irregularidades e não seja tão lisa quanto o desejado, necessitando de procedimentos que melhorem o acabamento.

EXPERIMENTAÇÃO 4 – LAÇADAS 3 ALÇAS

Nesta experimentação foi elaborado um módulo com 3 alças que se entrelaçam umas as outras (Figura 77).

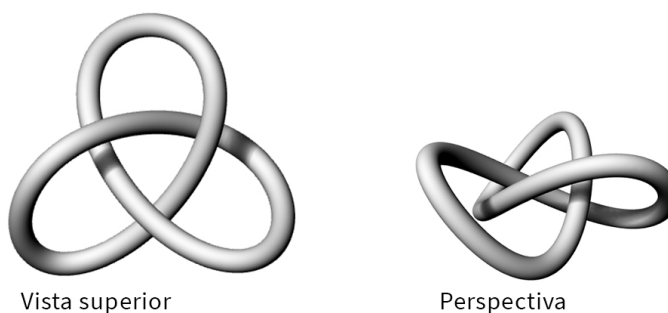


FIGURA 77: módulo com 3 alças

Fonte: elaborado pela autora

Inicialmente foram impressos 3 módulos entrelaçados para testar a geometria (Figura 75). A impressão foi realizada na impressora Sethi 3D AiP utilizando PLA. Estes módulos possuíam as seguintes dimensões: 45 mm de altura, 50 mm largura, com 20 mm de profundidade, com alças de 4 mm de espessura, conforme a Figura 78.



FIGURA 78: impressão teste módulo 3 alças

Elaborado pela autora.

Em seguida foi impresso um padrão com mais módulos, diminuindo o tamanho de cada módulo e a espessura das alças. O módulo final apresentou 39,5 mm de altura e 19 mm de profundidade. A figura 79 mostra a modelação final no Rhinoceros e a figura 80 apresenta as dimensões do módulo, enquanto a experimentação impressa é apresentada na figura 81.

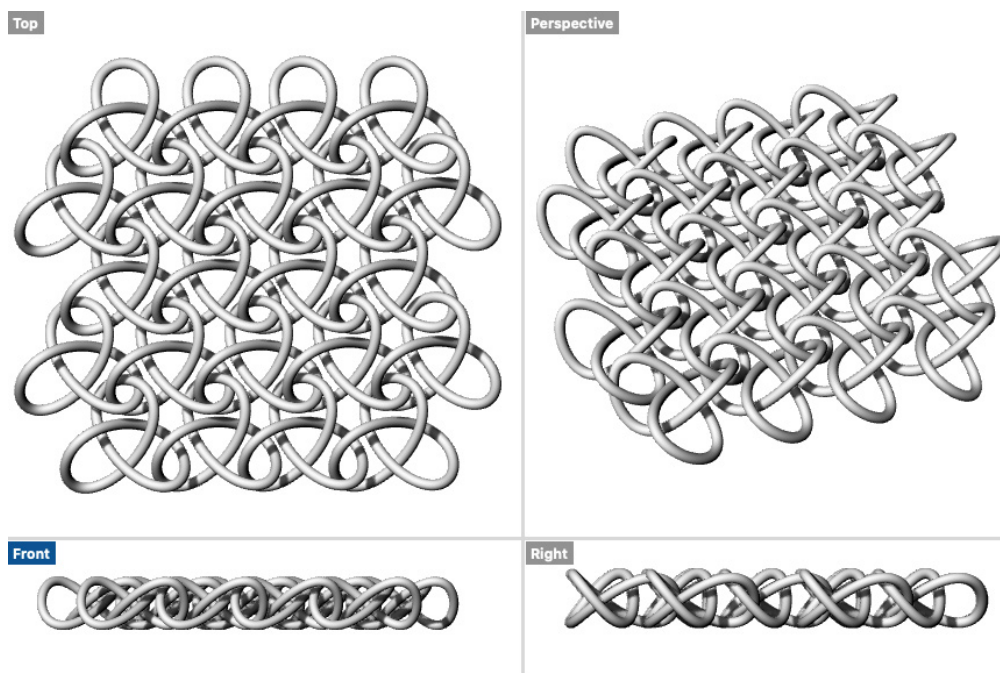


FIGURA 79: print da modelação do módulo com 3 alças

Elaborado pela autora.

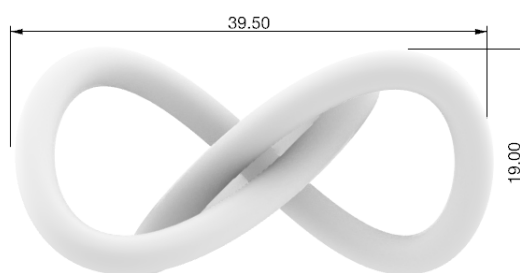


FIGURA 80:medidas do módulo 3 alças

Elaborado pela autora.

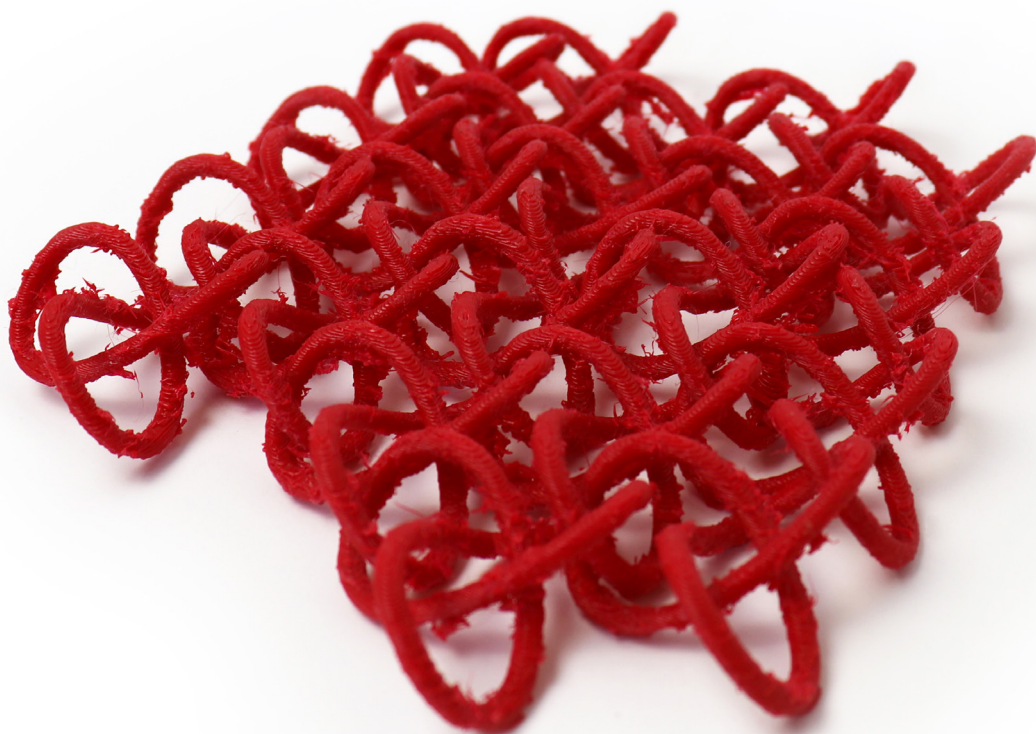


FIGURA 81: impressão do módulo de 3 alças

Elaborado pela autora.

Em virtude da geometria, para a impressão FDM desta modelação também foi necessário acrescentar vários suportes na hora da impressão devido ao ângulo das alças. A impressão dos suportes neste caso fez com que a qualidade do acabamento fosse mais baixa, de forma que a exigir maior trabalho para a finalização da superfície. Depois que a peça é impressa, se faz necessário que os suportes sejam retirados e que a peça seja lixada.

Os suportes da impressão, tanto da experimentação do módulo com quatro alças como na do módulo com três alças, foram acrescentados pelo programa Cura, utilizado em todas as impressões. Ele é o responsável pelo fatiamento em camadas do objeto a ser impresso. Nele também é possível definir os parâmetros da impressão, como, por exemplo, a espessura das camadas que serão sobrepostas e a quantidade de suportes na impressão. O software calcula o tempo que levará para o objeto ser impresso e a quantidade de material que será utilizada.

EXPERIMENTAÇÃO 5 – MÓDULO MOLAS

A quarta experimentação realizada reproduziu uma geometria baseada na simetria de translação de um módulo em formato de mola (Figura 82). O objetivo era reproduzir uma superfície que apresentasse distorção em todas as direções, conferindo o máximo de elasticidade e flexibilidade.

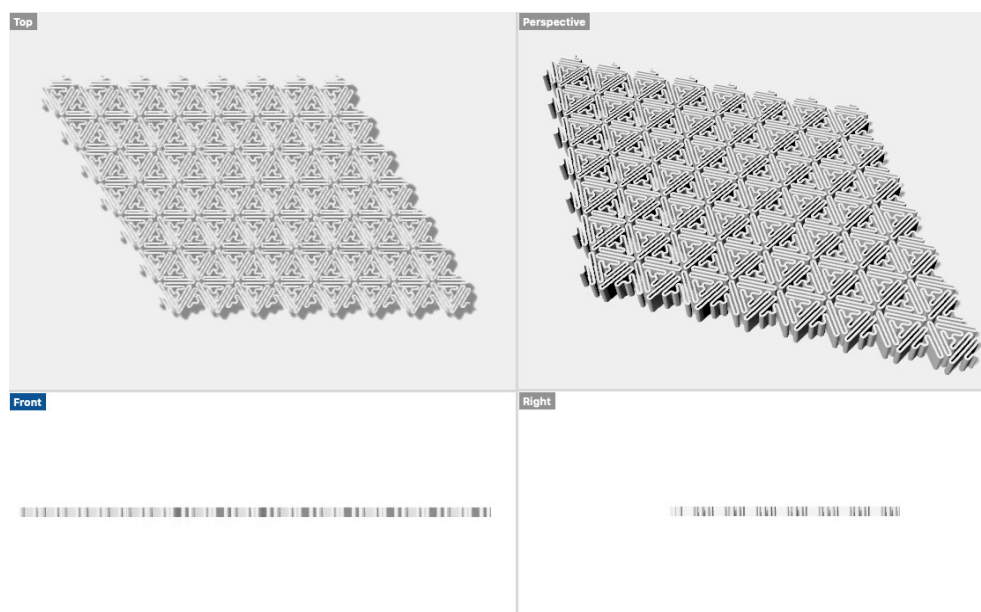


FIGURA 82: vistas da geometria impressa

Elaborado pela autora.

A primeira impressão desta geometria foi realizada a partir de um arquivo disponibilizado no site Thingiverse pelo designer Andreas Bastian, com módulo parecido ao apresentado pela Jaqueta Bomber, no capítulo anterior. A geometria também está presente nos trabalhos desenvolvidos pelo Professor Dr. Pedro Januário que a concebeu a partir do corte a laser, em um modo de fabricação digital subtrativa, transformando a superfície rígida da madeira em maleável a partir da geometria.

Com o objetivo de se obter o máximo de flexibilidade, a primeira impressão, com módulos de 22 mm de diâmetro e 1,2 mm de espessura, utilizou TPU, material flexível, por meio do processo FDM (Figura 83).

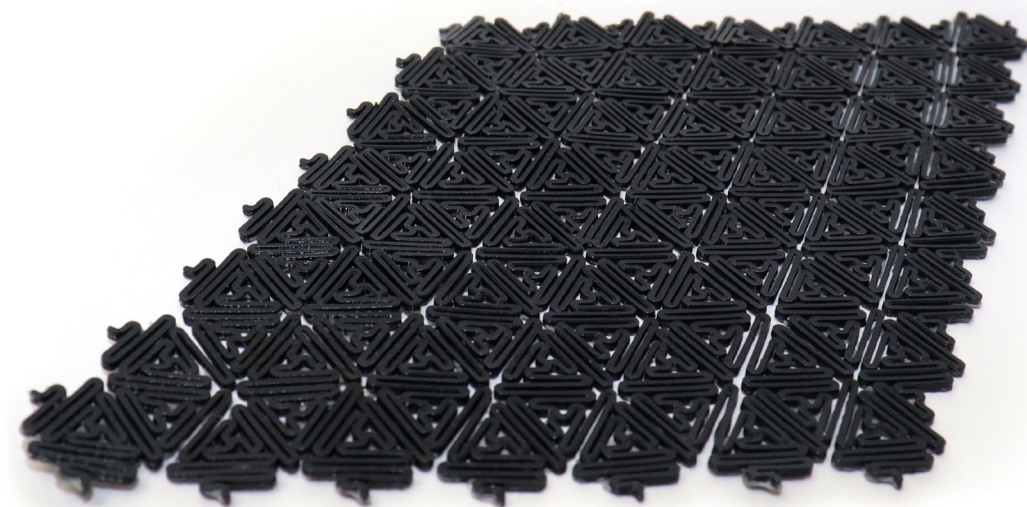


FIGURA 83: geometria impressa em TPU

Elaborado pela autora.

A geometria apresentou algumas dificuldades para impressão FDM em virtude de seu tamanho e das espessuras empregadas. O fato da superfície dilatar nas duas direções e do filamento empregado ser flexível fez com que houvesse baixa aderência da primeira camada fazendo com que a superfície se desprendesse da bandeja de impressão conforme as camadas eram sobrepostas.

Apesar do problema, resolvido com a alteração dos parâmetros da impressão, e uso de cola bastão aplicada manualmente, entre a impressão de uma camada e outra, a impressão resultou em uma superfície como bom acabamento, agradável ao toque e com bastante flexibilidade.

Na tentativa de facilitar a impressão e testar como a mesma geometria se comportaria com um material não flexível, outra modelação foi realizada utilizando o mesmo módulo, mas em tamanho maior (Figura 84). Nesta impressão os módulos impressos possuíam 29 mm de diâmetro e uma espessura de 20 mm, a quantidade de módulos impressos desta vez foi menor.

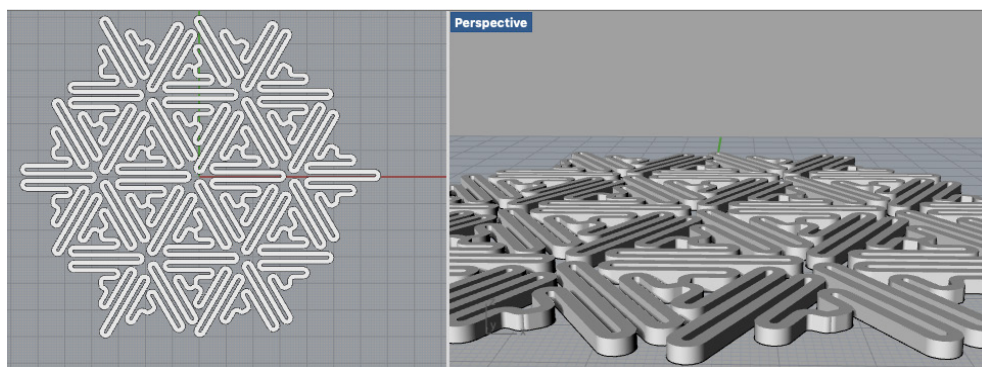


FIGURA 84: nova modelação realizada

Elaborado pela autora.

De início também houve dificuldade na impressão da peça, o que foi resolvido controlando os parâmetros durante o processo de impressão, como a temperatura de extrusão e a da sala de impressão. O resultado obtido é apresentado na figura a seguir (Figura 85).

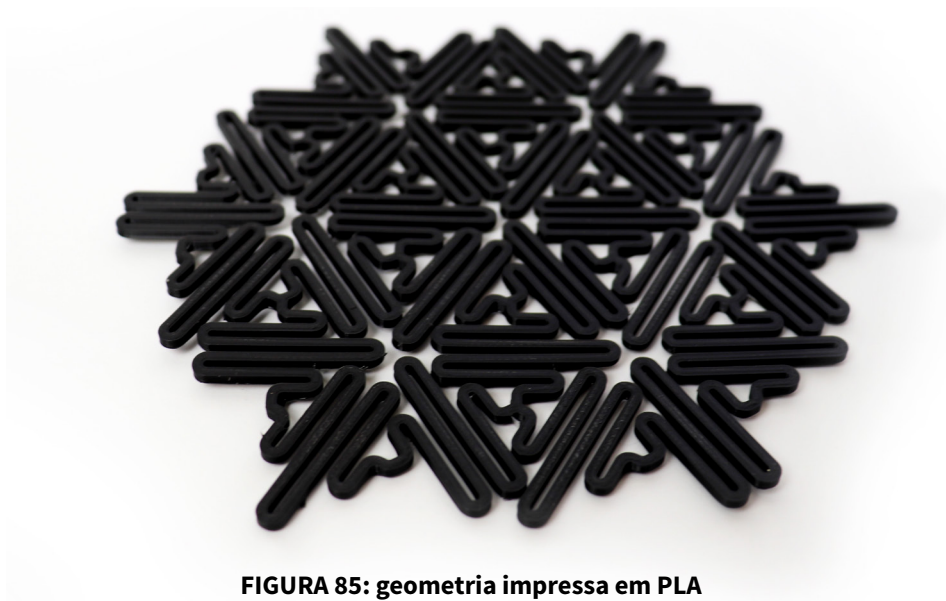


FIGURA 85: geometria impressa em PLA

Elaborado pela autora.

Nota-se que o material utilizado e o tamanho dos módulos modificaram bastante a estrutura e suas propriedades. A maleabilidade e a capacidade de distorção da superfície foram bastante reduzidas nesta nova impressão, tornando as propriedades da superfície mais distantes da desejada para uma superfície vestível.

EXPERIMENTAÇÃO 6 – MÓDULO PADRÃO TRIANGULAR

A quinta experimentação foi realizada a partir de uma superfície formada por módulos triangulares repetidos. O desenho do módulo com espaços pretendia tornar maior a maleabilidade e a flexibilidade da superfície. Os módulos foram repetidos por meio da translação e da inversão para criar o padrão. O desenho do módulo é apresentado na figura 86, a seguir.

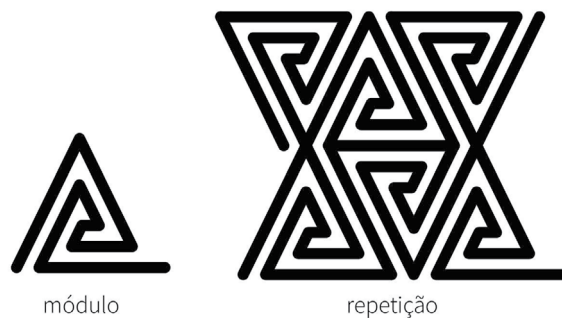


FIGURA 86: módulo e repetição de padrão triangular

Elaborado pela autora

A superfície foi impressa também pelo processo FDM, na impressora Sethi 3D AiP em PLA, com módulos de 19 mm de diâmetro e 2 mm de altura. A imagem 87 mostra a modelação e a figura 88 apresenta a modelação impressa.

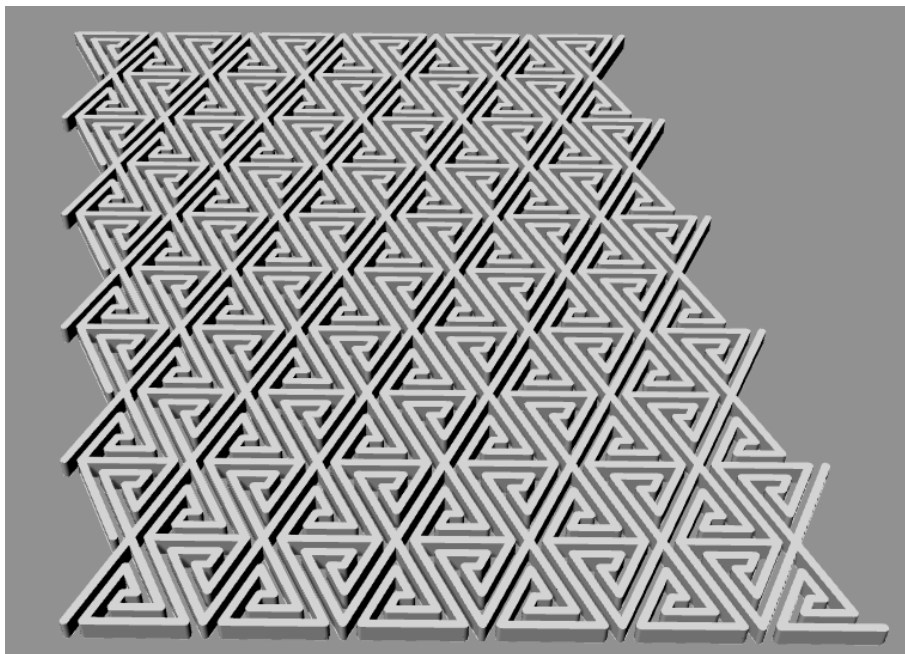


FIGURA 87: modelação de padrão triangular no Rhinoceros

Elaborado pela autora.

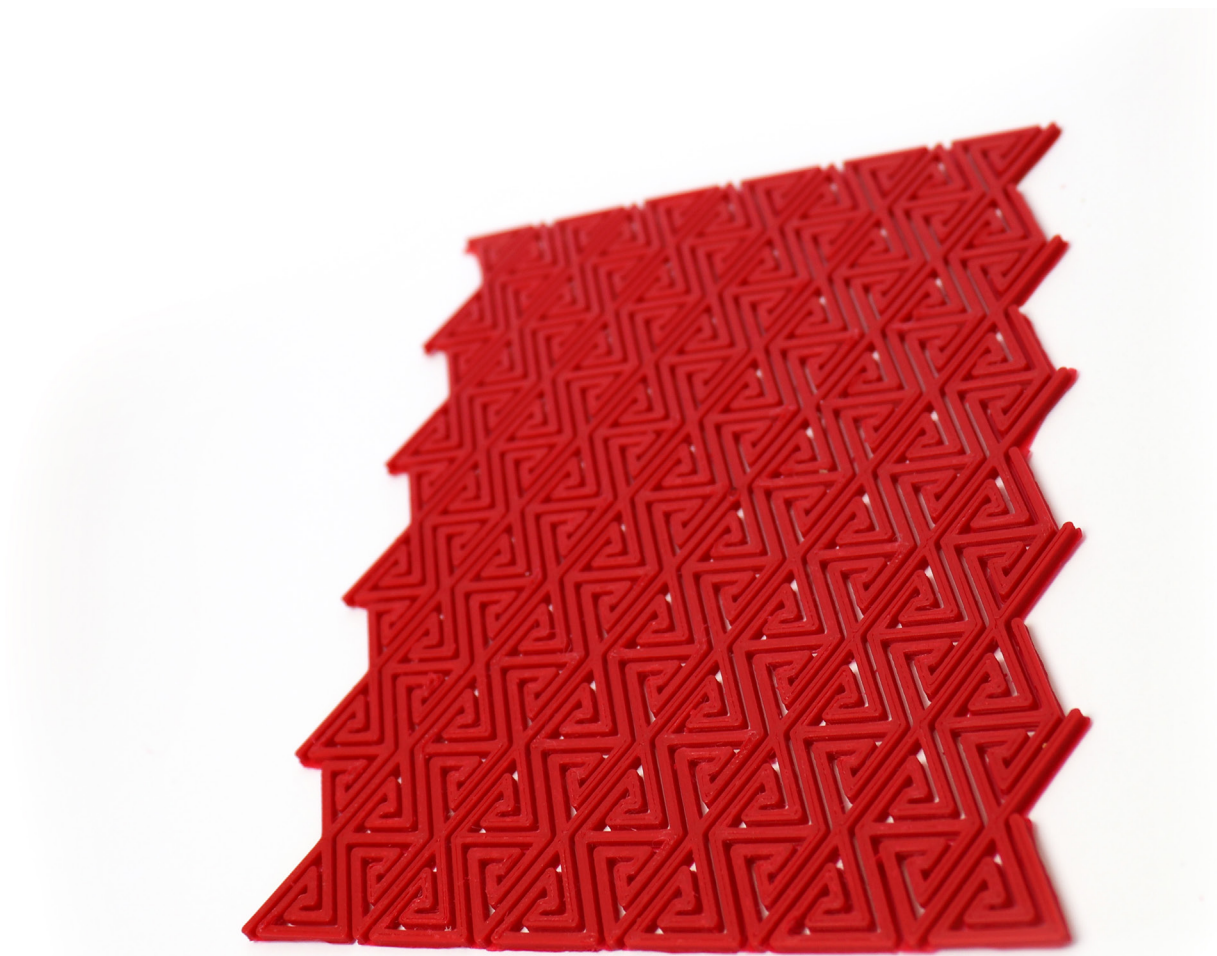


FIGURA 88: padrão triangular impresso

Elaborado pela autora.

Esta experimentação resultou em uma peça com pouca distorção apesar do espaço entre os módulos em virtude da rigidez do PLA. A flexibilidade da estrutura apresentou-se no sentido diagonal em virtude do desenho dos módulos e da composição do padrão. A impressão apresentou um bom nível de acabamento gerando uma superfície lisa e agradável ao toque.

O módulo foi reduzido para uma nova impressão e desta vez a experimentação levou em consideração o sentido da flexibilidade da geometria. A modelação foi realizada no formato do corte da saia conhecida como meio godê ou meia roda, conforme mostra a imagem da Figura 89. O objetivo desta última experimentação foi testar como a superfície se comportaria simulando uma peça de roupa.



FIGURA 89: modelação do módulo triangular no formato saia
Elaborado pela autora.

Duas impressões foram realizadas com diferentes espessuras para verificar a diferença de comportamento das peças, a primeira impressão com 2 mm de espessura e a segunda como 1,5 mm. As impressões, apresentadas na Figura 90, foram fotografadas em um manequim para verificar o resultado.



FIGURA 90: impressões da amostra com diferentes espessuras.
Fonte: elaborado pela autora

As distintas espessuras impressas apresentaram sutis diferenças quando colocadas sobre o manequim. A impressão com 1,5 mm, mostrada na figura 88 no manequim da direita, assim como o previsto apresentou caimento e mabeabilidade melhores e foi mais fácil de manuseá-la, enquanto a impressão com 2 mm de espessura apresentou maior resitência para ser ajustada sobre o manequim.

O modelo da saia meio godê ou meia roda foi escolhido em virtude da simplicidade e de ser uma peça básica do vestuário, uma das primeiras aprendidas quando se trata de corte e costura, porém cabe ressaltar que a impressão 3D pode imaginar uma nova concepção para as roupas e inclusive repensar a silhueta criando novas peças para o vestuário diferentes das usuais. Para mais, este trabalho se propõe a investigar a superfície vestível numa etapa anterior, antes de ser transformada em peça do vestuário.

ANÁLISE GERAL DAS EXPERIMENTAÇÕES

O quadro 4, a seguir, apresenta um resumo das experimentações realizadas com as principais características de cada processo, apresentando o método de impressão, a impressora e o material utilizado, bem como o tamanho do módulo, o tamanho final da amostra e o tempo aproximado de impressão.

QUADRO 5: resumo das experimentações

	Método	Impressora	Material	Tam. mod.	Tamanho	Tempo
Exp 1	FDM	Ultimaker 3	PLA	12x12x4mm	55x55x4mm	3 h
Exp 2	FDM	Ultimaker 3	PLA	10x10x6mm	150x150x5mm	13 h
Exp 3	FDM	Beethefirst	TPU	30x30x10mm	50x50x8mm	2 h
Exp 4	FDM	Sethi 3D AiP	PLA	39,5x19mm	150x150x22mm	10 h
Exp 5	FDM	Beethefirst	TPU	22x1,2mm	120x120x1mm	7 h
Exp 6	FDM	Sethi 3D AiP	PLA	19x2mm	180x140x2mm	8 h
Exp 7	FDM	Sethi3D S3	TPU	10x10x15mm	186x 93x15mm	2h25
Exp 8	FDM	Sethi3D S3	TPU	10x10x20mm	186x 93x20mm	3h

Elaborado pela autora

Analisando as experimentações, nota-se que nas impressões com PLA a geometria e a divisão em módulos podem propiciar caimento e flexibilidade à superfície, mesmo esta sendo construída a partir de um material rígido. A divisão em módulos também consiste em uma estratégia para que se possa imprimir mesmo em impressoras com área de impressão menores como visto no estudo do Modeclix e na dobragem para impressão do Kinematics Dress, no capítulo 5.

Ao imprimir em PLA pelo método FDM, mais acessível e disponível nos laboratórios, observa-se que o processo não gera superfícies agradáveis ao toque em virtude do material e das características de acabamento do processo de impressão utilizado. Apesar da obtenção de um bom resultado estético e de um bom caimento, como o apresentado pela experimentação 2, as superfícies não são aptas a se relacionarem como uma área grande do corpo, podendo causar incomodo ao usuário por não atender os requisitos do conforto estudados no item 3.3.1 desta investigação.

As impressões que utilizaram TPU apresentaram textura mais agradável além da flexibilidade própria do material que pode ser potencializada pela geometria como nas experimentações 5 e 6. No entanto, na primeira experimentação realizada com o material, o módulo com alças, o resultado do processo FDM não foi o desejado gerando rebarbas no módulo, o que faz com que se obtenha uma textura pouco agradável ao toque.

As modelagens das experimentações 3 e 4, que tinham como proposta alças inspiradas nas laçadas dos tecidos do tipo malha, possuíam ângulos que dificultaram a obtenção de um bom resultado pelo processo de impressão FDM, devido a necessidade da impressão de suportes junto às peças para tornar possível a geometria. Sendo assim, para a reprodução deste tipo de modelação é necessário que seja utilizado outro método de fabricação aditiva, como as técnicas que utilizam o material em pó de forma que a própria matéria-prima sustente a geometria.

Nas experimentações com o TPU também foi encontrada maior dificuldade durante o processo de impressão, uma vez que a distorção permitida pela geometria aliada à flexibilidade do material dificultava a adesão das camadas durante a deposição na bandeja de impressão. Porém, apesar da maior complexidade na impressão, o material flexível gerou superfícies mais agradáveis ao toque e, portanto, mais adequadas a proposta dos vestíveis.

O tempo de impressão do processo FDM também foi um fator de destaque nas experimentações realizadas. Efetuar impressões maiores demandam um tempo maior de uso dos equipamentos, o que torna inviável a realização do processo em ambientes compartilhados como nos laboratórios e nos FabLabs e pode dificultar o uso do método em ambiente acadêmico e nas aulas.

Os processos de impressão apresentam variáveis que podem influenciar nas características da superfície obtida, interferindo na qualidade do acabamento. Cada processo de impressão possui suas características específicas, a espessura da camada constitui uma das principais variáveis comuns a todos os métodos.

Na manufatura aditiva pelo processo FDM, utilizado nas experimentações desta pesquisa, ainda são fatores determinantes a temperatura de extrusão, a quantidade de suporte e a velocidade da impressão, que variam de acordo com as capacidades de cada equipamento.

A construção tridimensional da superfície por meio da fabricação digital conta com três variáveis: a geometria, o material e o processo de impressão (Figura 91). A combinação entre estes fatores gerará a superfície e determinará suas características.

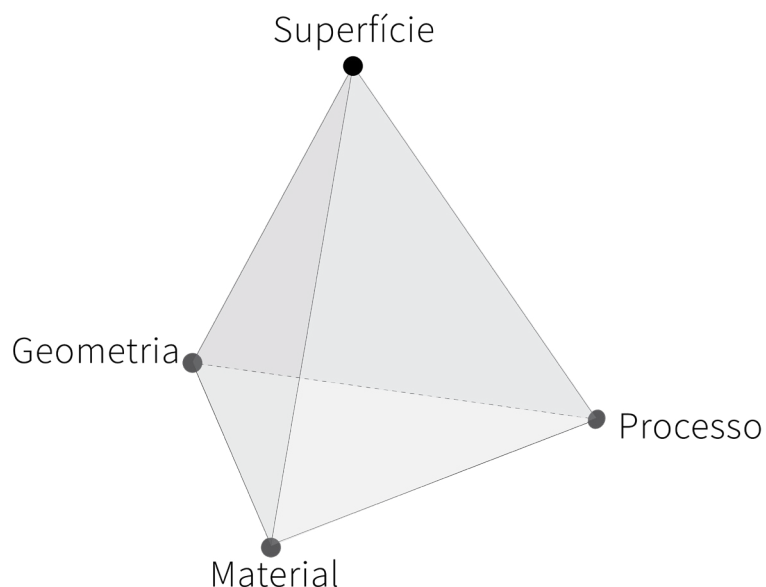


FIGURA 91: variáveis da superfície tridimensional impressa
Elaborado pela autora.

7. CONCLUSÃO

De acordo com os procedimentos de pesquisa realizados, baseando-se no estudo de caso e nas experimentações realizadas nesta investigação, são permitidas as seguintes afirmações:

- Quando o trabalho é com materiais que não possuem flexibilidade e elasticidade quanto menor for o módulo que compõe a superfície melhor será o seu caimento, porém a impressão de módulos menores é dificultada no processo FDM, principalmente quando a geometria do módulo apresenta formas curvas.
- Comprova-se que os conceitos do Design de Superfícies têxtil como módulo, sistema de repetição e a formação de malhas geométricas, podem ser aplicados para o estudo das superfícies impressas tridimensionalmente.

- A divisão modular da superfície e os encaixes entre os módulos permitem elaborar estratégias para a impressão em diferentes processos e tamanhos de impresso, o que possibilita o acesso de estudantes e pequenos criadores sem a necessidade de grandes espaços industriais. Aos alunos, garante o contato inicial e o ensino das técnicas no ambiente acadêmico.
- Os acabamentos no processo FDM não são satisfatórios quando se trata da superfície vestível. Há a necessidade de um tratamento da superfície ao sair da impressora para que esta possa se relacionar com o corpo.
- As superfícies obtidas a partir dos materiais disponíveis não possuem as mesmas características físicas e mecânicas obtidas a partir das fibras têxteis, de forma que, apesar dos materiais serem os mesmos, como por exemplo o náilon. O formato físico é um fator de alta relevância, fazendo com que as superfícies obtidas não possuam as propriedades necessárias: finura, elasticidade, resistência, toque, hidrofiliade, distorção, drapeabilidade.
- Em virtude das diferentes características de formato físico, nenhum dos projetos estudados apresentam a reprodução da estrutura tradicional dos tecidos, buscando diferentes soluções para o projeto.

Os estudos ao longo deste trabalho, conforme ilustrado no fim do capítulo 6, apontam que a construção tridimensional da superfície por meio da impressão 3D, apoia-se em três pilares e o resultado obtido será a combinação destas três variáveis: a geometria, o material e o processo de impressão. Alterando as características de cada uma destas variáveis um resultado diferente será obtido, podendo potencializar as características desejáveis aos vestíveis e assim se obterem bons resultados.

O uso da fabricação digital na moda levanta questões debatidas atualmente que, embora não abordadas neste trabalho, devem ser consideradas, como a questão ambiental que deve envolver todos os projetos. Neste sentido os esforços de futuros trabalhos devem ser concentrados no uso e descoberta de matérias-primas para impressão.

O emprego de novos materiais e a forma como estes se relacionam com a natureza são essenciais para que a fabricação digital por meio dos

processos de manufatura aditiva tenha seu uso ampliado na fabricação do vestuário.

Dos projetos estudados, os que estão disponíveis para venda baseiam-se na compra online e oferecem ao cliente a oportunidade de personalização, de forma que o consumo online e a maneira de apresentação destes produtos também são um desafio, cabendo estudos sobre a percepção visual destas superfícies.

As pesquisas e experimentos utilizando a impressão 3D para a moda são recentes em comparação a toda a história e desenvolvimento dos têxteis convencionais, conforme observado na revisão bibliográfica do Capítulo 3, porém estão em ascensão, já tendo seu uso consolidado na produção industrial, se popularizado a partir da queda no custo da matéria prima empregada e das próprias impressoras 3D. Nas criações apresentadas, a tecnologia representa uma inovação significativa, estética, funcional e na relação do usuário com o produto, na criação do vestuário com um grande potencial a ser explorado.

Ainda é difícil encontrar projetos e criações que sejam usáveis no dia a dia e que se assemelhem com os tecidos convencionais. Contudo, ao acompanhar os passos da história dos materiais têxteis nota-se que houve milhares de anos de refinamento desde o início da tecelagem tradicional e da costura que permitiram que estas produzam roupas duráveis, mais resistentes e confortáveis, caminho que deve ser percorrido pelos métodos de impressão tridimensional.

De forma que a área ainda possui um grande potencial a ser explorado e são estes estudos e experimentações que garantirão inovação aos produtos vestíveis e trarão respostas aos desejos e necessidades do consumidor e da sociedade de um modo geral.

Ao investigar as motivações das escolhas de consumo atual e entender como estas se refletem na moda, é possível compreender como a impressão 3D pode atender às tendências contemporâneas significando inovação estética e funcional. Desta forma, as pesquisas na área se tornam importantes e apresentam um grande potencial de desenvolvimento agregando valor e características desejáveis ao produto.

A moda, pelo que se observa ao longo de sua história, sempre esteve atenta às novas tecnologias e aos novos materiais e nunca tardou a incorporar estes ao seu universo, o que não deverá ser diferente com a tecnologia de impressão 3D.

A impressão tridimensional pode significar novas aplicações e possibilidades para o vestuário, atribuindo características como maior flexibilidade, movimento, diferencial tátil ou visual da peça final. No futuro, a popularização da tecnologia pode atender aos desejos do usuário: com a queda no preço e a popularização da técnica o consumidor poderá intervir no processo criação ou até criar e produzir suas próprias peças, contribuindo com sua visão estética, ou ainda personalizando produtos.

Como observado, diferentes criações têm sido investigadas, as parcerias estabelecidas com as companhias responsáveis pela tecnologia propiciam uma maior experimentação tendo como resultado a inserção do uso de diferentes matérias-primas, construindo a superfície de diferentes formas e obtendo resultados estéticos variados, o que também confirma o caráter transdisciplinar destas criações. São exigidas equipes transdisciplinares que estudem diferentes aspectos como as propriedades dos materiais e atuem em novos usos e descobertas.

As hipóteses deste trabalho não previram o desenho paramétrico como uma importante ferramenta na criação de vestíveis por meio da impressão 3D. Conforme estudado na revisão bibliográfica e no estudo de caso desta tese, a modelação paramétrica tem auxiliado na criação se configurando com uma importante estratégia. Desta maneira, trabalhos futuros devem considerar o desenho paramétrico e principalmente investigar como a disciplina deve ser inserida no ensino da moda, em especial no Brasil, onde o tema não integra os currículos de Design de Moda.

Outro ponto relevante que esta pesquisa não abordou e que indica-se como objeto de estudo e procedimentos de pesquisa de trabalhos futuros é o teste com o usuário. Observar a percepção tátil e visual do usuário e suas considerações acerca deste tipo de superfície é de grande importância e fundamental para ajudar o desenvolvimento da aplicação da impressão 3D no Design de Moda.

Embora não seja escopo desta investigação, que focou apenas na superfície vestível e não em peças do vestuário já construídas, novas formas de pensar a silhueta desconstruindo e ampliando os conceitos do vestuário tradicional se fazem pertinentes a produção de roupas a partir da impressão tridimensional. Esta é uma outra questão fundamental que pode ser objeto de estudo de investigações futuras.

Este trabalho focou em realizar a pesquisa e desenvolver as superfícies em ambiente acadêmico, porém conforme proposto pelas próprias tecnologias de fabricação digital, estes desenvolvimentos podem estrapolar o ambiente acadêmico chegando ao ambiente industrial, ou mesmo tornar o usuário um agente criador. De forma que ela pode ser aplicada para além do espaço acadêmico inicialmente proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3D SYSTEMS. FOC Textiles in permanent collection at MOMA. Disponível em: <https://www.3dsystems.com/blog/foc/foc-textiles-to-permanent-collection-at-moma?utm_source=freedomofcreation.com&utm_medium=301>. Acesso em: 15 ago. 2019.

3DILLA. Sinterização a Laser: a tecnologia. Disponível em: <<http://pt.3dilla.com/impressora-3d/selective-laser-sintering/>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

ABIT (SP). O Poder da Moda: Cenários • Desafios • Perspectivas Agenda de Competitividade da Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira 2015 a 2018. São Paulo, 2015.

ABINT (SP). Associação Brasileira da Indústria de Não Tecidos. Classificação, Identificação e Aplicação de Não tecidos. São Paulo: Abint, 2019. 36 p. Disponível em: http://www.abint.org.br/pdf/Manual_ntecidos.pdf. Acesso em: 11 maio 2020.

AGABEM, Giorgio. O que é contemporâneo? E outros ensaios. Santa Catarina: Argos, 2009.

ALBERTI, Eduardo André; SILVA, Leandro João da; D'OLIVEIRA, Ana Sofia C. M.. Manufatura Aditiva: o papel da soldagem nesta janela de oportunidade. Soldagem & Inspeção, [s.l.], v. 19, n. 2, p.190-198, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/si1902.11>.

ALDRICH, W. Fabric, form and flat pattern cutting. New York: Blackwell, 2007

ALENCAR, Camila Osugi Cavalcanti de; BOUERI, Jorge. O Conforto no Vestuário: uma Análise da Relação entre Conforto e Moda. In: VIII COLÓQUIO DE MODA, 8., 2012, Rio de Janeiro. Anais.... Rio de Janeiro: Colóquio de Moda, 2012. p. 1 - 8. Disponível em: <http://www.coloquiomoda.com.br/anais/anais/8-Coloquio-de-Moda_2012/GT04/COMUNICACAOORAL/103160_O_Conforto_no_Vestuario.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2017.

ANDRADE, R. R.; HATADANI, P. S. O hiperconsumo e a personalização de produtos de moda. Iara: Revista de Moda, Cultura e Arte, v. 3, p. 1-16, 2010.

ARAGÃO, E. (Org.) et al.,. O Fiar e o Tecer: 120 anos da indústria têxtil no Ceará. Fortaleza: SINDITÊXTIL/FIEC, 2002

ASSIS, André Fernando de. Filamentos 3D: qual escolher? 2016. Disponível em: <<http://www.keepecad.com.br/blog/2016/10/200/Filamentos-3D:-qual-escolher>>. Acesso em: 17 set. 2019.

AUTODESK HELP. Sobre os relacionamentos da modelagem paramétrica. 2020. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Revit-GetStarted/files/GUID-71F2C8EE-2A90-4076-A6C7-702082566DDF-hm.html>. Acesso em: 25 maio 2020.

BADER, Christoph et al. Grown, Printed, and Biologically Augmented: an additively manufactured microfluidic wearable, functionally templated for synthetic microbes. : An Additively Manufactured Microfluidic Wearable, Functionally Templated for Synthetic Microbes. 3d Printing And Additive Manufacturing, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 79-89, jun. 2016. Mary Ann Liebert Inc. <http://dx.doi.org/10.1089/3dp.2016.0027>.

BARACHINI, T. Design de superfície: uma experiência tridimensional. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 5. Congresso Internacional de Pesquisa em Design, 1, 2002, Brasília. Anais do P&D Design, Brasília: (s.n.), 2002.

BARBOSA, Ruy Madsen. Descobrindo padrões em Mosaicos. São Paulo: Atual, 1993.

BARISON, Maria Bernardete. Malhas planas poligonais. In: Geométrica. [S.l.], v. 1, n. 12a, 2005.

BENARUSH, Michelle.K. A Memória das Roupas. In: dObra[s], v. 3, 2008.

BILISIK, Kadir; KARADUMAN, Nesrin Sahbaz; BILISIK, Nedim Erman. 3D Fabrics for Technical Textile Applications. Non-woven Fabrics, [s.l.], p.81-141, 24 mar. 2016. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/61224>.

BLOOMFIELD, Mark; BORSTROCK, Shaun. Modeclix. The additively manufactured adaptable textile. *Materials Today Communications*, [s. L.], v. 16, p.212-216, set. 2018.

BOA IMPRESSÃO3D (Ed.). Como Funciona a Impressora 3D FDM. 2017. Disponível em: <<https://boaimpresao3d.com.br/aplicacoes/como-funciona-impressora-3d-fdm/>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

BONSIEPE, Gui. Teoria e Prática do Design Industrial. Lisboa, 1992.

BROEGA, A. C. L. Contribuição para a definição de padrões de conforto de tecidos finos de lã. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Têxtil) – Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

BROEGA, Ana Cristina; SILVA, Maria Elisabete Cabeço. O conforto total do vestuário: design para os cinco sentidos. In: V ENCUENTRO LATINOAMERICANO DE DISEÑO “DISEÑO EN PALERMO”, 2010, Buenos Aires. Actas de Diseño. Buenos Aires: Universidad de Palermo, 2010. p. 59 - 64.

BURDEK, Bernhard E. Design: História, Teoria, e Prática do Design de Produtos. Ed. Blucher, 2006.

CADEP (Bauru). Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos - Sobre. Disponível em: <<http://www.cadepunesp.com.br/p/sobre.html>>. Acesso em: 4 fev. 2019.

CARDOSO, Rafael. Design para um mundo complexo. São Paulo: Cosac Naify, 2013.

CIOBANU, Luminita. Development of 3D Knitted Fabrics for Advanced Composite Materials. *Advances In Composite Materials - Ecodesign And Analysis*, [s.l.], p.165-192, 16 mar. 2011. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/14876>.

COELHO, Geferson. Manual da Impressão 3D. São Paulo: 3drabbit, 2015.

COPPOLA, S. Arte Moda Ciência e Tecnologia: Permeabilidade e Experimentação. Ciência e Cultura, São Paulo, 62, 2010.

CREATIVE COMMONS. Six licenses for sharing your work. Disponível em: <ht-

[tps://wiki.creativecommons.org/images/6/6d/6licenses-flat.pdf](https://wiki.creativecommons.org/images/6/6d/6licenses-flat.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2019.

CUNICO, Marlon Wesley Machado. Desenvolvimento de nova tecnologia de manufatura aditiva baseado em formação seletiva de compósito. 2013. 329 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

DDDROP. O que é o Filamento TPU? Disponível em: <<https://dddrop.com.br/filamento-flex/>>. Acesso em: 27 set. 2019.

DORIN, I. et al. Developments of 3D Knitted Fabrics. 17th International Conference Structure and Structural Mechanics of Textiles. Czech Republic: TU Liberec. 2010.

ESCHER Lizards 3D Print. 2018. Disponível em: https://www.etsy.com/listing/616532348/escher-lizards-3d-print?ga_order=most_relevant&ga_search_type=all&ga_view_type=gallery&ga_search_query=escher+lizards+3d+print.&ref=sr_gallery-1-1&organic_search_click=1&cns=1&col=1. Acesso em: 04 jun. 2019.

ETECH (Paraná). Principais Diferenças Entre os Materiais Utilizados nas Impressoras 3DCloner. Disponível em: <<http://blog.etechbrasil.com.br/principais-diferencas-entre-os-materiais-utilizados-nas-impressoras-3dcloner/>>. Acesso em: 17 set. 2019.

FILGUEIRAS, A. P. A., 2008. Optimização do design total de malhas multifuncionais para utilização em vestuário desportivo. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Têxtil) – Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

FLORIO, W. Modelagem Paramétrica no Processo de Projeto em Arquitetura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,

GIBSON, Ian; ROSEN, David; STUCKER, Brent. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. 2. ed. New York: Springer, 2015.

GOMES, Luiz Vidal Negreiros ; MACHADO, Clarice Gonçalves da Silva. Design: experimentos em desenho, técnicas de representação gráfica apoiadas por princípios e movimentos de simetria úteis à criatividade na prática do design. Porto Alegre : Ed. UniRitter, 2006.

GRAIN, Emma. An analysis of 3D printed textile structures. In: MONTAGNA; CARVALHO (Ed.). Textiles, Identity an Innovation: Design the Future. London: Taylor & Francis Group, 2019. p. 41-48.

HAGUE, Richard. Unlocking the Design Potential of Rapid Manufacturing. Rapid Manufacturing, [s.l.], p.5-18, 9 maio 2006. John Wiley & Sons, Ltd. <http://dx.doi.org/10.1002/>

HIGGINS, Leah; ANAND, Subhash. Textile Materials and Products for Activewear and Sportswear. Reino Unido: Textiles Intelligence Limited, 2003

HOBSBAWN, Eric J. Da Revolução Inglesa ao Imperialismo. 6º ed. Tradução: Donalson M. Garschagen. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2011.

HOPKINSON, HAGUE E DICKENS. Rapid Manufacturing: an industrial revolution for the digital age. John Wiley & Sons, 2006.

HU, Jinlian. 3-D Fibrous Assemblies: Properties, Applications and Modelling of Three-Dimensional Textile Structures. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2008. 279 p.

IRIS VAN HERPEN | Ludi Naturae | Process film (short). Direção de Ryan McDaniels. Amsterdam, 2018. Son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=5oenEXB5QGY>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

IRIS VAN HERPEN. Couture. Disponível em: <<https://www.irisvanherpen.com/haute-couture>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

JOE KUCHARSKI. Tyranny Of Style. 3D Printing For Costume Design and Technology. 2015. Disponível em: <<http://tyrannyofstyle.com/3d-printing-costume-design-technology>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

JONES, S. J. Fashion design: manual do estilista. São Paulo: Cosac Naify, 2005.

KIM, Haejung; AHN, Soo-kyoung; A FORNEY, Judith. Shifting paradigms for fashion: from total to global to smart consumer experience. *Fashion and Textiles*, [s.l.], v. 1, n. 1, p.1-16, 24 out. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40691-014-0015-4>.

KRSNADEVA, Claudio. Argila Digital. Saquarema: Clube de Autores, 2009. 272 p.

KUHN, Renato; MINUZZI, Reinilda. Panorama da impressão 3D no Design de Moda. In: *Moda Documenta: Museu, Memória e Design*, 2015.

KWON, Yu Mi; LEE, Young-a; KIM, Sook Jin. Case study on 3D printing education in fashion design coursework. *Fashion and Textiles*, [s.l.], v. 4, n. 1, p.1-20, dez. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1186/s40691-017-0111-3>.

LAVIER, James. *A Roupas e a Moda*. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

LE CORBUSIER. *Por uma Arquitetura*. São Paulo: Perspectiva, 1977.

LEE, L. et al. Effect of weaving damage on the tensile properties of three-dimensional woven composites. *Composite Structures*, v. 57, p. 405-413, julho 2002.

LIPOVETSKY, G. e SERROY, J. *A Cultura-Mundo resposta a uma sociedade desorientada*. Ed. Companhia das Letras: São Paulo, 2010.

LIPOVETSKY, G. e SERROY, J. *A estetização do Mundo: Viver na era do Capitalismo Artista*. São Paulo: Companhia das Letras, 2015

LIPOVETSKY, Gilles. *A felicidade paradoxal: ensaio sobre a sociedade do hiperconsumo*. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

LIRA, A. C. D. B. *A matemática dos espelhos: proposta para o ensino-aprendizagem de matrizes utilizando transformações geométricas*. Campina Grande: [s.n.], 2011.

MAKERBOT. Thingiverse. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com>>. Acesso em: 19 set. 2019.

MODECLIX (Inglaterra). University Of Hertfordshire. #madewithmodeclix. Disponível em: <https://www.modeclix.com/?page_id=503>. Acesso em: 2 set. 2019.

MORAES, José Geraldo Vinci de. Caminhos das Civilizações: História Integrada Geral e do Brasil. São Paulo, SP: Editora Atual, 1998. 544 p.

MOURA, Mônica; COELHO, Luiz. Design Contemporâneo Brasileiro: Moda, Pluralidades e Singularidades. In: 2º Internacional Fashion and Design Congress. Milão, 2014.

MOURA, Mônica. Design Brasileiro Contemporâneo: Reflexões. São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2014.

MUNARI, B. Design e Comunicação Visual. 4ª edição. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

NASCIMENTO, R. A. D.; BENUTTI, M. A.; NEVES, A. F. Transformações por Equivalência Sob o Olhar das Simetrias Rígidas. Graphica 13. Florianópolis: [s.n.]. 2013.

NERVOUS SYSTEM (Nova York). KINEMATICS. 2014. Disponível em: <<https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/sets/kinematics/>>. Acesso em: 26 ago. 2019.

NEVES, Aniceh Farah. Em busca de uma vivência geométrica mais significativa. 1998. 225f. Tese (Doutorado em Educação) — Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual de São Paulo, Marília, 1998.

NIEMEYER, Lucy. Design Contemporâneo no Brasil. In: Design Brasileiro Contemporâneo: Reflexões. São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2014.

OLIVEIRA, João Paulo Peçanha Navarro de. Método Iterativo Para Geração de Malhas Triangulares com Distribuição Uniforme. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem Computacional, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

OLIVEIRA, Natálie Pacheco. Estudo e Aplicação do Design Paramétrico à Su-

perfície da Malha de Trama. 2016. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Design e Marketing, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho Escola de Engenharia, Braga, 2016.

OXMAN, Neri. Mushtari: Jupiter's Wanderer. 2014. Disponível em: <https://neri.media.mit.edu/projects/details/mushtari.html>. Acesso em: 18 maio 2020.

PAVKO-CUDEN, Alenka; RANT, Darja. Multifunctional Foldable Knitted Structures: Fundamentals, Advances and Applications. Textiles For Advanced Applications, [s.l.], p.55-84, 20 set. 2017. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69292>.

PEARCE, Peter. Structure in Nature is a Strategy for Design. 15. ed. Cambridge: Mit Press, 1990. 245 p.

PELEG, D. TAKE PART IN THE NEXT FASHION REVOLUTION. Danit Peleg. Disponível em: <<https://danitpeleg.com/>>. Acesso em: 23 Fevereiro 2019.

PENCIUC, M.; BLAGA, M.; CIOBANU, R. Principle of creating 3D effects on knitted fabrics developed on electronic flat knitting machines, 2010.

PEZZOLO, D. B. Tecidos – História, Tramas, Tipos e Usos. Editora: SENAC, 2012.

PORSANI, Rodolfo Nucci; SILVA, Bruno Borges; HELLMEISTER, Luiz Antonio Vasques. Revisão Teórica da História da Manufatura Aditiva e das Propriedades dos Principais Insumos e Estruturas de Preenchimento nas Impressoras 3D FDM Open Material. In: II CONGRESSO INTERNACIONAL E VIII WORKSHOP: DESIGN & MATERIAIS 2017, 2., 2017, Joinville. Anais... . Joinville: Embra Serviços em Tecnologia Ltda Epp, 2017. p. 1 - 20

QUINN, B. Textiles Diseñadores de Vanguardia. Barcelona: Blume, 2009. 320 p.

RAY, S. C. Fundamentals and Advances in Knitting Technology. [S.l.]: Woodhead Publishing India, 2012. 368 p.

REDWOOD, Ben; SCHÖFFER, Filemon; GARRET, Brian. The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications. Amsterdam: 3d Hubs, 2017.

RELVAS, Carlos. O mundo da impressão 3D e do fabrico digital. Porto: Engenbook, 2017. 221 p.

RINALDI, Ricardo. A Contribuição da Comunicação Visual para o Design de Superfície. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2009.

ROCHA, Lula. O que é Rapport?. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://estampaholic.com/>> Acesso em 30 de maio de 2014.

RODA, Daniel Tietz. Impressoras 3D: Como Funcionam. 2018. Disponível em: <<https://www.tudosobreplasticos.com/processo/impressao3D.asp>>. Acesso em: 14 set. 2019.

ROHDE, Geraldo Mario. Simetria: rigor e imaginação. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1997.

RUFUS. The Artwork of MC Escher. 2017. Disponível em: <<https://owlcation.com/humanities/The-Artwork-of-MC-Escher>>. Acesso em: 13 abr. 2019.

RUTHSCHILLING, E. A. Design de Superfície. 1ª edição. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2008.

RUTHSCHILLING, E. A. Introdução ao Design de Superfície. Porto Alegre: Núcleo de Design de Superfície - UFRS, 2006.

SÁ, J.R.C.C.. “Edros”. São José do Campos: 1982.

SANTANA, Leonardo et al. Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica. Matéria (Rio de Janeiro), [s.l.], v. 23, n. 4, p.1-28, 6 dez. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180004.0601>.

SCHMID, Aloísio Leoni. A Ideia de Conforto: Reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SCHWARTZ, Ada Raquel Doederlein; NEVES, Aniceh Farah. Design de Superfície: abordagem projetual geométrica e tridimensional. IN: MENEZES, MS.,

and PASCHOARELLI, LC., (orgs.). Design e planejamento: aspectos tecnológicos [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 277 p. ISBN 978-85-7983- 042-6. Available from SciELO Books.

SCHWARTZ, Ada Raquel Doederlein. Design de superfície: por uma visão projetual geométrica e tridimensional. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2008.

SCOTT, Rober Gillan. Fundamentos del diseño. [S.l]: Editorial Victor Leru, 1979. p.141.

SILVA, Dailene Nogueira da; NEVES, Erica Pereira das; SILVA, José Carlos Plácido da; PASCHOARELLI, Luiz Carlos. O Têxtil na Revolução Industrial:: contribuições da indústria do algodão. In: CIMODE, 2., 2014, Milão. Proceedings [...] . Milão: Poliscrypt - Politecnico di Milano, 2014. p. 1-10.

STOTT, Rory. “MIT Researchers Develop 10-Material 3D Printer Capable of “Smart” Printing” 01 Sep 2015. ArchDaily. Accessed 19 May 2020. <<https://www.archdaily.com/772838/mit-researchers-develop-10-material-3d-printer-capable-of-smart-printing/>> ISSN 0719-8884

SILVA, Márcia Luiza França da. Design de Superfícies: por um ensino no Brasil. 2017. 417 f. Tese (Doutorado) - Curso de Design, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2017.

SLATER, K. Subjective Textile Testing, Journal Textile Institute vol 88 Part 1, nº 2, 1997.

SOUZA, Patrícia de Mello; MENEZES, Marizilda dos Santos. A construção de estruturas têxteis vestíveis. In: INTERNATIONAL FASHION AND DESIGN CONGRESS, 2., 2014, Milão. Anais... . Milão: Cimode, 2014.

STYLO URBANO (Brasil). Modeclix cria vestidos de tricô em impressora 3D. 2016. Disponível em: <<https://br.fashionnetwork.com/news/Modeclix-cria-vestidos-de-trico-em-impressora-3D,669340.html#.XLXeX5NKgY0>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

SUN, Lushan; ZHAO, Li. Envisioning the era of 3D printing: a conceptual model for the fashion industry. *Fashion and Textiles*, [s.l.], v. 4, n. 1, p.1-16, dez. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1186/s40691-017-0110-4>.

SVJO. Cartesien system. 2011. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cartesien-system.svg>>. Acesso em: 15 maio 2018.

THINGIVERSE. Thingiverse. MakerBot's Thingiverse. Disponível em: <www.thingiverse.com>. Acesso em: 3 junho 2018.

TORRES, Manel. (Londres). Fabric from a can: Fabrican technology has captured the imagination of designers, industry and consumers around the world. Disponível em: <http://www.fabricanltd.com/>. Acesso em: 11 maio 2020.

TORRES, Manel; LUCKHAM, Paul. NON-WOVEN FABRIC. Titular: United States Patent. Procurador: Manel Torres. US n. US 8.124.549 B2. Concessão: 28 fev. 2012.

VEBLEN, Sarah. Know Your Knits. 2018. Disponível em: <<https://www.threads-magazine.com/2008/11/19/know-your-knits>>. Acesso em: 09 jan. 2019.

VOLPATO, Neri (Org.). Manufatura Aditiva: Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D. São Paulo: Blucher, 2017. 400 p.

WALES, Catherine. About ProjectDNA. Disponível em: <<http://catherinewales.eu/read-this/>>. Acesso em: 14 set. 2019.

WIPPRECHT, Anouk. FASHIONTECH: Rethinking Fashion in the Age of Digitalisation.. Disponível em: <<http://www.anoukwipprecht.nl/>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

WOODBURY, Robert. Elements of Parametric Design. Nova York: Taylor And Francis Group, 2010. 300 p.

WU, Alyssa. "MIT desenvolve um sistema de impressão 3D com múltiplos materiais" [MIT Develops Multi-Material Design System Slated to Become "Photoshop of 3D Printing"] 20 Jan 2017. ArchDaily Brasil. (Trad. Baratto, Romullo) Acessado 18 Mai 2020. <<https://www.archdaily.com.br/br/803483/mit-desenvolve-um-sistema-de-impressao-3d-com-multiplos-materiais>> ISSN 0719-8906

YAP, Y.l.; YEONG, W.y.. Additive manufacture of fashion and jewellery products: a mini review. Virtual and Physical Prototyping, [s.l.], v. 9, n. 3, p.195-201, 3 jul. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/17452759.2014.938993>.

YI; DING. Conventional approach on manufacturing 3D woven preforms used for composites. Journal Of Industrial Textiles, Usa, p. 39-50, jul. 2004.

Bibliografia consultada

ANAF, Márcia; HARRIS, Ana Lúcia Nogueira de Camargo. As Contribuições da Impressão 3D para a Validação dos Conceitos no Estudo das Estruturas Retráteis. Educação Gráfica, Bauru, v. 22, n. 3, p.130-148, dez. 2018.

ARAÚJO, Gabriel Gazetta de. FABRICAÇÃO ADITIVA: TECNOLOGIAS E PARÂMETROS. Regrad, Marília, v. 1, n. 10, p.417-432, out. 2018.

BANERJEE, Prabir Kumar. Principles of Fabric Formation. Boca Raton: Crc Press, 2014. 509 p.

BARANA, Marcia. O DESIGN DE SUPERFÍCIES COMO COMPONENTE EM PRODUTOS BI E TRIDIMENSIONAIS. 2018. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2018.

CARVALHO (Ed.). Textiles, Identity and Innovation: Design the Future. London: Taylor & Francis Group, 2019. p. 41-48.

DUDEK, P.. FDM 3D Printing Technology in Manufacturing Composite Elements. Archives Of Metallurgy And Materials, [s.l.], v. 58, n. 4, p.1415-1418, 1 dez. 2013. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/amm-2013-0186>.

FEATHERSTONE, Mike. Cultura de consumo e pós-modernismo. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

FERNANDES, Célia Auxiliadora. Prototipagem e Modelagem no Design de Tecnologias Vestíveis. 2013. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Anhembí Morumbi, São Paulo, 2013.

GOWTHAMAN, Swaminathan et al. A Review on Energy Harvesting Using 3D Printed Fabrics for Wearable Electronics. Journal Of The Institution Of Engineers (India): Series C, [s.l.], v. 99, n. 4, p.435-447, 28 jun. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s40032-016-0267-4>.

LARANJEIRA, Mariana Araujo; MARAR, João Fernando. OS PRINCÍPIOS MATEMÁTICOS DA TRAMA TÊXTIL APLICADOS AO DESIGN DE SUPERFÍCIE. In: XII INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, 12., 2017, Araçatuba. Anais... . São Paulo: Graphica, 2017. p. 1 - 10.

LUSSENBURG, VELDEN, DOUBROVSKI, GERAEDTS, KARANA. Designing with 3D Printed Textiles A case study of Material Driven Design. Proceedings of 5th International Conference on Additive Technologies, 2014

MELNIKOVA, R; A EHRMANN,; FINSTERBUSCH, K. 3D printing of textile-based structures by Fused Deposition Modelling (FDM) with different polymer materials. Iop Conference Series: Materials Science and Engineering, [s.l.], v. 62, p.012018-7, 8 ago. 2014. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/62/1/012018>.

OSÓRIO, Filipa; PAIO, Alexandra; OLIVEIRA, Sancho. Kinetic Origami Surfaces From Simulation to Fabrication. In: CAADFUTURES 17, 17., 2017, Istanbul. Anais... . Istanbul: Springer, 2017. p. 229 - 248.

PALOMBINI, Felipe Luis et al. Design-Aided Science: o Designer como Promotor de Tecnologias 3D para Inovação em Pesquisa Científica. Educação Gráfica, Bauru, v. 22, n. 3, p.169-186, dez. 2018.

PARTSCH, Leonie; VASSILIADIS, Savvas; PAPAGEORGAS, Panagiotis. 3D PRINTED TEXTILE FABRICS STRUCTURES. In: 5TH INTERNATIONAL ISTANBUL TEXTILE CONGRESS 2015: INNOVATIVE TECHNOLOGIES “INSPIRE TO INNOVATE”, 5., 2015, Turkey. Anais... . Turkey: Textile Congress, 2015. p. 1 - 8.

PAYNE, Jessica. Cutting Through the Surface: The Use of Laser Cutting Technology with Traditional Textile Process. In: TEXTILE SOCIETY OF AMERICA SYMPOSIUM, 12., 2010, Nebraska. Proceedings... . Nebraska: Textile Society of America, 2010. p. 1 - 7.

RINALDI, Ricardo. A intervenção do design nas superfícies projetadas: processos multifacetados e estudos de caso. Tese (Doutorado em Design) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013.

SASS, Larry; OXMAN, Rivka. Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design. *Design Studies*, [s.l.], v. 27, n. 3, p.325-355, maio 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.009>.

SILVA, BROEGA, MENEZES, Uma Abordagem ao Conforto nos Produtos Vestíveis Impressos Em 3d. In: Colóquio de Moda, 2017

ThreeASFOUR, 2018. Disponível em: www.threeasfour.com/. Acesso em: 08 de setembro de 2018.

VEIGA, Jonas; VIZIOLI, Simone Helena Tanoue. Processo criativo digital: do croqui à impressão 3D. *Anais do Xix Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital 2015*, [s.l.], p.771-775, nov. 2015. Editora Edgard Blücher. <http://dx.doi.org/10.5151/despro-sigradi2015-sp30241>.